

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



Análise comparativa de estudos dos níveis ótimos de rentabilidade de medidas de Eficiência Energética em Edifícios de Escritórios em vários países da União Europeia

Tiago Carrapatoso

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Fernando Marques da Silva (FCUL/LNEC)
Armando Pinto (LNEC)

2016

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus orientadores, Doutor Armando Pinto e Doutor Fernando Marques da Silva, pois sem eles esta dissertação não teria existido. Concederam-me a oportunidade de realizar este trabalho, bem como procuraram sempre dar-me todo o apoio e conhecimentos quando mais necessitei.

Naturalmente, agradeço de igual forma à minha família, em especial aos meus pais e irmã, por estarem ao meu lado nos momentos mais delicados.

Um enorme agradecimento aos meus amigos, em especial ao Miguel Antunes e ao Orlando Leal, pela paciência, força e alegria que sempre me transmitiram.

Por fim, um obrigado não é suficiente para agradecer todo o apoio, carinho e força que a Sara me deu ao longo deste percurso.

Abstract

In order to decrease energy consumption of buildings, the European Union prepared the Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, EPBD, which guides member-states to set minimum requirements of energy performance of buildings and its elements, at a national level, with the main goal of achieving cost-optimal levels. Cost-optimal level of an energy efficiency measure is the energy performance that leads to the lowest cost during its estimated life cycle.

The main goal of this thesis was to analyse and compare studies of cost-optimal levels of energy efficiency measures in office buildings performed by several European Union countries. Initially, there were identified the adopted methodologies, studied parameters/packages and optimal energy efficiency solutions.

Afterwards, a sensitivity analysis regarding those parameters on energy consumption was elaborated, in order to be possible the comparison of calculated optimal levels and the ones set by each country.

Hence, using the parameters set by each country, there were three reference buildings established, regarding architecture, dimensions, thermal quality, users' schedule and systems: one building with average parameters, other with inferior ones and another one with superior ones. After this, using these three buildings, several studies were done by executing a simulation tool from LNEG and varying climate data.

Thus, it was possible to note that, for an average type of climate conditions, there is no need to have such big variety of measures and analysed buildings, because all of them wind up having similar energy consumptions when assuming average architecture, dimensions and user's schedules. With a few exceptions, it is perfectly acceptable to assume an average reference building for all the EU countries that don't have extreme climate conditions, making all the analysis, legislation and implementation faster and effective.

Regarding the countries with hotter weather, it is adequate to adopt the reference building with the minimum parameters, due to the fact that it has much lower costs than the average or the maximum-type buildings, and doesn't have much different energy needs per area (kWh/m²) from the average reference building.

For the countries with colder weather, the process of choosing the reference building must be judicious by taking into account the parameters' cost-benefit and adopt the building that best suits to the specific users. The minimum reference building should only be used if there are renewable energy sources being used, in order to supply the greater percentage of heating demand. Hence, it is advised to adopt the average reference building for colder weather, because it has lower costs than the maximum reference building.

Keywords: Energy performance of buildings, EPBD, office buildings, European Union, energy, simulation.

Resumo

Para promover a redução do consumo energético dos edifícios, a União Europeia elaborou a Diretiva 2010/31/UE relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, EPBD, que guia os Estados-membros a definirem requisitos mínimos, a nível nacional, do desempenho energético dos edifícios e suas componentes, com o objetivo de obterem níveis ótimos de rentabilidade. Nível ótimo de rentabilidade de uma medida de eficiência energética é o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado.

O presente estudo teve como principal objetivo a análise comparativa de estudos dos níveis ótimos de rentabilidade de medidas de Eficiência Energética em Edifícios de Escritórios em vários países da União Europeia. Numa primeira fase, foram identificadas as diferentes metodologias adotadas, os diversos parâmetros/pacotes estudados e as diferentes soluções ótimas de eficiência energética.

Posteriormente, foi elaborada uma análise de sensibilidade desses parâmetros nos consumos energéticos, de modo a ser possível comparar com os níveis ótimos calculados e definidos pelos vários países analisados.

Para tal, utilizando os parâmetros definidos por cada país para os seus edifícios de referência, foram definidos três edifícios-tipo de referência, em termos de arquitetura, dimensões, qualidade térmica, perfis de utilização e sistemas: um com parâmetros médios, outro com parâmetros inferiores, e ainda outro com valores superiores. Após esta fase, recorrendo aos referidos edifícios-tipo, foram realizados vários estudos, executando uma ferramenta de simulação do LNEC, nos quais foram utilizados vários tipos de clima para os três edifícios-tipo.

Assim, verificou-se que, para climas amenos, não há necessidade de existirem tantas variantes e tantos edifícios analisados, porque todos acabam por ter um consumo relativamente semelhante, quando se adota a arquitetura, geometria e padrões de utilização médios. Salvo algumas exceções, é suficiente utilizar o edifício de referência médio para os países da União Europeia que não tenham condições climáticas extremas, tornando todo o processo de análise, legislação e implementação mais rápido e eficaz.

Relativamente aos países com climas mais quentes, podem perfeitamente adotar o edifício de referência mínimo, que apresenta custos muito inferiores aos edifícios de referência médio e máximo e, no entanto, não tem um IEE (expresso em kWh/m²/ano) muito afastado do edifício de referência médio.

Para os países com climas mais frios, a escolha do edifício de referência tem de ser mais criteriosa, devendo ter-se em conta o custo/benefício dos parâmetros e adotar aquele que mais se adequar às especificidades dos utilizadores. O edifício com os valores de referência mínimos só deve ser tido em conta caso se recorra à utilização de energias renováveis para suprir uma parcela considerável das necessidades de aquecimento. Assim, é recomendável a adoção do edifício de referência médio, tendo em conta que este apresenta custos e, conseqüentemente, investimentos mais baixos do que o que recorre aos valores de referência mais elevados.

Palavras-Chave: Desempenho Energético de Edifícios, EPBD, edifício de escritórios, União Europeia, simulação energética.

Índice

Agradecimentos.....	iv
Abstract	vi
Resumo.....	viii
Índice de Figuras	xii
Índice de Tabelas.....	xv
Simbologia e Notações.....	xvii
1. Objetivo/Introdução	18
Aspectos gerais	18
Objetivos da tese	18
2. Metodologia para a otimização da rentabilidade, segundo o Regulamento Delegado (UE) nº 244/2012.....	19
2.1. Definição dos Edifícios de Referência	20
2.2. Identificação de medidas de Eficiência Energética	23
2.3. Cálculo das necessidades de energia primária decorrentes da aplicação das medidas e conjuntos de medidas aos edifícios de referência	25
2.4. Cálculo do custo global, expresso em Valor Atual Líquido, para cada edifício de referência;	27
2.5. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados, incluindo o preço da energia;	31
2.6. Obtenção de um nível ótimo de rentabilidade dos custos de desempenho energético para cada edifício de referência.....	31
3. Análise comparativa dos estudos de vários Estados-Membros	34
3.1. Edifícios de Referência	34
4. Análise de sensibilidade dos parâmetros dos estudos dos níveis ótimos de rentabilidade....	58
5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	62
Referências Bibliográficas	64

Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema da metodologia para obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade.	19
Figura 2 – Diferentes variantes e posição do intervalo de rentabilidade ótima. [Fonte: Anexo do Regulamento]	32
Figura 3 – Modelo de um edifício de escritórios. [Fonte: Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes dos edifícios, LNEC]	35
Figura 4 - Largura dos edifícios de referência de escritórios para os vários países em análise.	35
Figura 5 - Comprimento dos edifícios de referência de escritórios para os vários países em análise.	36
Figura 6 - Área útil de pavimento para os vários edifícios de referência.	36
Figura 7 - Número de pisos dos diferentes edifícios de referência de escritórios.	37
Figura 8 - Volume dos vários escritórios analisados.	37
Figura 9 – Razão entre a superfície e o volume dos escritórios de cada país em análise.	38
Figura 10 - Área de cobertura dos diversos edifícios de referência em estudo.	38
Figura 11 - Área total de fachada dos vários escritórios em análise.	39
Figura 12 - Rácio entre as áreas de fachada e de pavimento para os diferentes edifícios de referência.	39
Figura 13 - rácio de janelas relativamente à fachada dos vários escritórios analisados.	40
Figura 14 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] das paredes dos vários edifícios de referência em análise.	42
Figura 15 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] do pavimento dos vários edifícios de referência em análise.	43
Figura 16 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] da cobertura dos vários edifícios de referência em análise.	43
Figura 17 – Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] dos vãos envidraçados dos vários edifícios de referência em análise.	44
Figura 18 – Densidade de potência [W/m ²] dos sistemas de iluminação dos vários edifícios de referência em análise.	45
Figura 19 - Densidade de potência [W/m ²] dos equipamentos elétricos dos edifícios de referência estudados.	46
Figura 20 – Eficiência dos sistemas de aquecimento dos diferentes edifícios de referência analisados.	46
Figura 21 – Eficiência dos sistemas de arrefecimento dos vários edifícios de referência estudados.	47
Figura 22 – Eficiência dos sistemas de aquecimento de águas dos edifícios de referência analisados.	47
Figura 23 – Renovações de ar por hora em vários edifícios de referência de escritórios.	48
Figura 24 – Setpoint de temperatura dos sistemas de climatização na estação de aquecimento de vários edifícios de referência.	48
Figura 25 – Setpoint de temperatura dos sistemas de climatização na estação de arrefecimento de vários edifícios de referência.	49
Figura 26 – Graus-dia de aquecimento para os edifícios de alguns dos países analisados.	49
Figura 27 – Previsão dos preços da eletricidade presentes nos relatórios do Reino Unido, Irlanda, Espanha e Portugal.	51
Figura 28 – Previsão dos preços do gás presentes nos relatórios do Reino Unido, Irlanda, Espanha e Portugal.	51
Figura 29 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] da cobertura para soluções ótimas calculadas por cada país.	54
Figura 30 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] dos vãos envidraçados para soluções ótimas calculadas por cada país.	54
Figura 31 - IEE [kWh/m ²] para variação da arquitetura.	59
Figura 32 - IEE [kWh/m ²] para variação dos coeficientes de transmissão térmica.	59

Figura 33 - IEE [kWh/m ²] para variação dos sistemas.....	60
Figura 34 - IEE [kWh/m ²] para variação dos coeficientes e sistemas.....	60
Figura 35 - – Necessidades anuais de energia útil calculadas pela ferramenta.	60
Figura 36 - Consumos anuais de energia final, por fonte de energia, apresentados no relatório compilado pela ferramenta.	61

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Principais critérios de subdivisão das categorias de edifícios [Fonte: Regulamento].....	20
Tabela 2 - medidas de eficiência sugeridas no Regulamento.....	33
Tabela 3 - Edifícios de Referência Habitacionais novos em Portugal [Fonte: Cost-optimal study for new residential buildings in Portugal, LNEG]	38
Tabela 4 – Edifícios de Referência de habitação existentes (Espanha). [Fonte: Report on cost optimal calculations and comparison with the current and future energy performance requirements of buildings in Spain.]	40
Tabela 5 - Edifícios-tipo de referência de escritórios.....	41
Tabela 6 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] dos vários elementos dos edifícios de referência médio, qualidade térmica inferior e superior alguns valores estão errados.....	44
Tabela 7 - valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados dos sistemas dos vários edifícios de referência	50
Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m ² .K] dos vários elementos do edifício de referência médio, qualidade térmica inferior e superior, comparativamente às respetivas soluções ótimas	55
Tabela 9 – Edifício de referência médio	58

Simbologia e Notações

<i>AVAC</i>	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
<i>AQS</i>	Águas Quentes Sanitárias
<i>U</i>	Coefficiente de transmissão térmica (W/m ² K)
<i>U_{cobertura}</i>	Coefficiente de transmissão térmica da cobertura (W/m ² K)
<i>U_{janela}</i>	Coefficiente de transmissão térmica da janela (W/m ² K)
<i>U_{parede}</i>	Coefficiente de transmissão térmica da parede (W/m ² K)
<i>U_{pavimento}</i>	Coefficiente de transmissão térmica do pavimento (W/m ² K)
<i>CO₂</i>	Dióxido de Carbono
<i>EPBD</i>	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
<i>g</i>	Fator Solar
<i>FER</i>	Fontes de Energia Renováveis
<i>GEE</i>	Gases de Efeito de Estufa
<i>IEE</i>	Indicador de Eficiência Energética
<i>EPS</i>	Poliestireno expandido
<i>XPS</i>	Poliestireno extrudido
<i>S/V</i>	Razão Superfície/Volume
<i>UE</i>	União Europeia
<i>VRF</i>	Volume de Refrigerante Variável

1. Objetivo/Introdução

Aspetos gerais

Os Edifícios são responsáveis por 40% do consumo energético total na Europa. Para promover a redução desse consumo, a União Europeia elaborou a Diretiva 2010/31/UE relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios, comumente conhecida como EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), que guia os Estados-membros a definirem requisitos mínimos, a nível nacional, do desempenho energético dos edifícios e suas componentes, com o objetivo de obterem níveis ótimos de rentabilidade.

Nível ótimo de rentabilidade de uma medida de eficiência energética é o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado. Quando se determina o custo mais baixo, tem-se em conta os custos de investimento, de manutenção e de funcionamento, bem como os custos de eliminação, quando aplicável. Já o ciclo de vida económico estimado pode ser do edifício, se os requisitos de desempenho energético forem fixados para o edifício no seu conjunto, ou pode ser de um componente, se os referidos requisitos forem fixados para os componentes do edifício. É, ainda, importante referir que o nível ótimo de rentabilidade situa-se dentro dos níveis de desempenho se a análise de custo-benefício, que tem em consideração o ciclo de vida económico estimado, for positiva.

Objetivos da tese

A presente tese tem como principal objetivo a análise comparativa de estudos dos níveis ótimos de rentabilidade de medidas de Eficiência Energética em Edifícios de Escritórios em vários países da União Europeia. Pretende-se numa primeira fase identificar as diferentes metodologias adotadas (por exemplo: simulação, otimização, edifício de referência, custos), os diferentes parâmetros/pacotes estudados e as diferentes soluções ótimas de eficiência energética. Com essa informação, numa segunda fase é desenvolvida uma análise de sensibilidade desses parâmetros nos consumos energéticos, de modo a ser possível comparar com os níveis ótimos calculados e definidos pelos vários países analisados.

2. Metodologia para a otimização da rentabilidade, segundo o Regulamento Delegado (UE) nº 244/2012

Para se realizar um estudo de níveis ótimos de rentabilidade, é necessário seguir um conjunto de passos esquematizados na Figura 1. Inicialmente, são definidos os edifícios de referência para cada país, tendo em atenção as categorias e subcategorias de edifícios adotadas. Numa segunda fase, devem ser identificadas as várias medidas e/ou pacotes/variantes de medidas de eficiência energética a aplicar em cada edifício de referência que permitam atingir os níveis ótimos de rentabilidade. Após essa identificação, pode-se proceder ao cálculo das necessidades de energia primária de cada edifício, decorrentes da aplicação das medidas/pacotes/variantes de medidas de eficiência energética, bem como ao cálculo do custo global para cada edifício. De seguida, é efetuada uma análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados nos referidos cálculos, como os preços da energia e das emissões de CO₂, obtendo-se, assim, os níveis ótimos de rentabilidade dos custos de desempenho energético para cada edifício de referência. Por último, é feita uma comparação entre os referidos níveis ótimos e os níveis regulamentares, de forma a ser possível observar se os valores utilizados são os mais adequados ou se, por outro lado, é necessário proceder a alterações e intervenções.



Figura 1 – Esquema da metodologia para obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade.

Nas secções seguintes, encontram-se detalhados estes passos. A informação obtida em cada um destes, para os relatórios estudados, será utilizada nos capítulos mais à frente neste texto.

2.1. Definição dos Edifícios de Referência

O principal objetivo da definição de um edifício de referência é representar, da maneira mais precisa possível, o parque imobiliário típico existente num país, de forma a que os resultados obtidos através dos cálculos (seguindo a metodologia abaixo descrita) sejam representativos.

O Regulamento Delegado nº 244/2012 da Comissão Europeia (daqui em diante, referido como Regulamento) exige que cada Estado-Membro identifique, pelo menos, um edifício de referência para os edifícios novos e, no mínimo, dois para os edifícios sujeitos a profundas renovações, para cada uma das seguintes categorias:

- Habitações unifamiliares;
- Edifícios de apartamentos/plurifamiliares;
- Edifícios de escritórios, que serão os estudados nesta dissertação;
- Outras categorias não residenciais que não serão abordadas nesta tese (estabelecimentos de ensino, hospitais, hotéis, restaurantes, instalações desportivas, etc).

Poderão, ainda, haver várias subcategorias em cada uma das categorias acima identificadas, sendo que o Regulamento não obriga a tal. No entanto, a divisão em subcategorias é importante, na medida em que permite uma determinação mais precisa dos edifícios de referência mais representativos.

Os parques imobiliários variam, naturalmente, de país para país e, por isso, um critério da divisão em subcategorias pode não ser o mais indicado para todos os Estados-membros. A título de exemplo, um país pode considerar que a diferenciação das subcategorias deve ser feita tendo em conta a idade dos edifícios, enquanto outro pode considerar que as condições climáticas, e consequentes zonas climáticas, devem ser o fator principal dessa divisão. De seguida, estes critérios serão identificados e analisados.

O Regulamento define os principais critérios de subdivisão das categorias de edifícios, representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais critérios de subdivisão das categorias de edifícios [Fonte: Regulamento]

Principais critérios para a subdivisão das categorias de edifícios
Idade
Dimensão
Condições climáticas
Orientação e proteção solar
Produtos de construção
Edifícios classificados como património protegido

Em países cujos parques imobiliários ainda não sofreram renovações, a idade original de um edifício é uma boa indicação do seu desempenho energético.

Quanto à dimensão, o Regulamento é muito vago, não referindo o que este critério significa podendo, assim, ser interpretado de múltiplas maneiras. Tanto pode ser a dimensão da área interior e/ou útil, como da área da envolvente, do edifício todo, entre muitas outras possíveis interpretações.

É recomendado que os edifícios de referência dos Estados-Membros em que os requisitos nacionais estabeleçam distinções entre diferentes zonas climáticas do país sejam representativos dessas mesmas zonas, e que sejam calculados os consumos energéticos dos edifícios de referência em relação a cada uma delas.

Para os edifícios existentes, que vão sofrer uma renovação profunda, os edifícios de referência de cada categoria (e eventual subcategoria) devem apresentar os seguintes parâmetros:

- Geometria do edifício – Razão S/V (superfície/volume), orientação, área de cada fachada;
- Percentagem de área de janelas na envolvente do edifício e de janelas sem exposição ao sol;
- Área de pavimento em conformidade com a regulamentação nacional;
- Descrição do edifício – Materiais de construção, estanquicidade característica ao ar, padrões de utilização e idade. Os dois últimos não são obrigatórios;
- Descrição da tecnologia de construção corrente – sistemas técnicos dos edifícios, coeficientes de transmissão térmica (U) dos componentes dos edifícios, janelas (área, U, fator solar g, sombreamento, sistemas passivos, etc);
- Desempenho energético médio (kWh/m²) antes do investimento;
- Requisitos aplicáveis aos componentes (valor característico)

Já para os edifícios novos, os principais parâmetros são os mesmos que os supracitados, sendo que a descrição do edifício e das tecnologias de construção corrente não estão incluídos:

- Geometria do edifício – Razão S/V, orientação, área de cada fachada;
- Percentagem de área de janelas na envolvente do edifício e de janelas sem exposição ao sol;
- Área de pavimento em conformidade com a regulamentação nacional;
- Desempenho energético característico (kWh/m²);
- Requisitos aplicáveis aos componentes.

A adoção dos parâmetros acima enumerados é de extrema relevância na definição dos edifícios de referência de um determinado país, na medida em que se torna possível efetuar comparações entre edifícios e, como se irá realizar nesta tese, entre edifícios de diferentes países. Dentro do mesmo país, existem inúmeros edifícios com, por exemplo, consumos energéticos semelhantes mas que apresentam geometrias completamente diferentes (ou outro parâmetro dos referidos anteriormente); se não fosse tido em conta o parâmetro do desempenho energético (kWh/m²), poder-se-ia cometer o erro de assumir que edifícios com áreas muito superiores a outros, mas com consumos energéticos próximos, seriam considerados semelhantes entre si e, por isso, seriam alvo de intervenções iguais. É importante realçar que este raciocínio é válido para qualquer um dos parâmetros listados anteriormente, daí ter sido referido que a sua adoção na definição dos edifícios de referência é extremamente significativa.

2.2. Identificação de medidas de Eficiência Energética

O Anexo das Orientações que acompanham o Regulamento recomenda que as medidas sejam tomadas em pacotes e/ou variantes em vez de individualmente, visto que as combinações, quando bem analisadas e efetuadas, podem originar melhores resultados, em termos de desempenho energético e de custos, do que as medidas isoladas. Ainda assim, é necessário ter em atenção a interação entre as diferentes medidas aquando da definição dos pacotes/variantes, visto que uma medida que atue sobre um sistema pode afetar o desempenho de outro sistema do mesmo edifício. O referido Anexo define variantes como “um resultado e uma descrição globais de um conjunto completo de medidas/pacotes aplicados a um edifício, que pode ser composto por uma combinação de medidas relativas à envolvente do edifício, técnicas passivas, medidas relativas aos sistemas do edifício e/ou medidas baseadas em fontes de energia renováveis”.

É, ainda, importante referir que num pacote/variante de medidas, podem existir medidas que ainda não são rentáveis, mas que podem contribuir significativamente para a redução do consumo de energia primária e redução de CO₂, desde que o pacote continue a permitir um saldo positivo durante o tempo de vida útil do edifício ou da componente do edifício.

O referido Anexo sugere algumas medidas gerais de eficiência energética que poderão ser o ponto de partida para a definição dos pacotes/variantes. Contudo, é de realçar que estas medidas são meramente indicativas, visto que podem assumir diferentes níveis de importância, dependendo do país em causa, seja devido às condições climáticas, ao tipo de parque imobiliário, e ao próprio contexto nacional, entre outras razões. Das medidas listadas, destacam-se as principais:

2.2.1 Para a estrutura do edifício:

- Construção de raiz das paredes, fachadas, telhados e solo de edifícios novos ou sistema de isolamento adicional, no caso dos edifícios existentes;
- Aumento da inércia térmica utilizando materiais de construção maciços (apenas para algumas situações climáticas);
- Melhoria das estruturas de portas e janelas, da proteção solar e da estanquidade ao ar;
- Orientação do edifício e exposição solar (apenas para novos edifícios);
- Otimização do rácio entre a área envidraçada e a área de fachada (dependendo da zona climática, será melhor, para zonas quentes, uma menor área envidraçada, verificando-se o oposto para zonas mais frias);
- Aberturas para ventilação noturna (ventilação cruzada ou por efeito de chaminé).

Ao longo do Regulamento e do seu Anexo, as pontes térmicas são referidas, mas não estão incluídas na lista de medidas. Provavelmente estão implícitas em certas medidas, mas tal não é explicado. Assim, há o risco de poderem ser interpretadas como um fator sem importância, devido à subjetividade que o Regulamento lhes parece dar.

2.2.2 Para os sistemas:

- Instalação ou melhoria do sistema de aquecimento (seja este baseado em energia de origem fóssil ou de fontes renováveis, com caldeiras de condensação, com bombas de calor, etc.);
- Instalação ou melhoria do sistema de abastecimento de água quente (quer este recorra a combustíveis fósseis ou energias renováveis);
- Instalação ou melhoria da ventilação (mecânica com recuperador de calor, natural, mecânica equilibrada, extração);
- Instalação ou melhoria do sistema de arrefecimento;
- Melhoria da iluminação natural e/ou sistema de iluminação ativa;
- Instalação ou melhoria de sistemas fotovoltaicos;
- Mudança de vetor energético de um sistema (escolha de um mais eficiente do que o atual);
- Instalação de sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento com energia solar.

A partir dos ensaios realizados a pedido da Comissão Europeia, concluiu-se que o número calculado a cada edifício de referência não deverá ser inferior a 10 pacotes/variantes, mais o caso de referência.

Nota crítica: O Anexo deveria segregar as medidas em específicas e distintas para edifícios novos e edifícios existentes, em vez de fornecer uma lista de medidas genéricas e, algumas delas, um pouco vagas. Sugerir uma melhoria das estruturas de portas e janelas, por exemplo, não especifica uma medida propriamente dita, mas sim um objetivo. Além disso, é intuitivo perceber que melhorar a estrutura de uma janela num edifício existente é diferente de construir uma janela eficiente num edifício novo. A UE deveria ter sido mais concreta na sugestão das medidas, propondo medidas específicas para os edifícios novos e outras para edifícios existentes. Naturalmente, algumas seriam comuns aos dois tipos, mas seria muito mais útil para os Estados-membros terem acesso a uma lista de medidas concretas. As acima descritas, por serem, como já foi referido, vagas e gerais, podem fazer com que o seu impacto no cálculo dos níveis ótimos seja demasiado artificial ou teórico, não correspondendo à realidade. Ou seja, o impacto das medidas, por estas serem pouco específicas, vai estar dependente da interpretação/sensibilidade de cada Estado-membro.

2.3. Cálculo das necessidades de energia primária decorrentes da aplicação das medidas e conjuntos de medidas aos edifícios de referência

O desempenho energético de um edifício é determinado com base na energia calculada (para edifícios novos) ou na consumida (para edifícios já utilizados há pelo menos um ano) para satisfazer as necessidades associadas à sua utilização (nesta tese, escritórios), e reflete as necessidades de aquecimento e arrefecimento para se manter as condições de temperatura estabelecidas para o edifício em questão. Reflete, ainda, as necessidades inerentes ao aquecimento de águas sanitárias. Por outro lado, a Diretiva 2010/21/EU não obriga a inclusão da eletricidade utilizada por aparelhos eletrodomésticos e dispositivos ligados a tomadas, sendo facultativa a cada Estado-Membro.

A metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios é estabelecida tendo em conta, pelo menos, os seguintes aspetos:

1. Características térmicas reais do edifício:
 - i. Capacidade térmica;
 - ii. Isolamento;
 - iii. Aquecimento passivo;
 - iv. Arrefecimento passivo;
 - v. Pontes térmicas;
2. Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respetivas características de isolamento;
3. Instalações de ar condicionado;
4. Ventilação natural e mecânica;
5. Instalação fixa de iluminação;
6. Conceção, posicionamento e orientação dos edifícios, incluindo as condições climatéricas exteriores;
7. Sistemas solares passivos e proteções solares;
8. Condições climatéricas interiores, incluindo as de projeto;
9. Cargas internas.

Neste cálculo deve ser tida em conta, quando aplicável, a influência positiva dos seguintes aspetos:

- Condições locais de exposição solar, sistemas solares ativos e outros sistemas de aquecimento e produção de eletricidade baseados em energia proveniente de fontes renováveis;
- Eletricidade produzida por cogeração;
- Redes urbanas ou coletivas de aquecimento e arrefecimento;
- Iluminação natural.

O Anexo sugere que o cálculo do desempenho energético seja feito tendo em conta os seguintes passos:

1. Cálculo das necessidades líquidas de energia térmica do edifício para satisfazer as exigências do utilizador.
2. Subtração das necessidades calculadas no ponto 1 da energia térmica proveniente de fontes de energia renováveis gerada e utilizada in situ;
3. Cálculo das utilizações de energia para cada finalidade (aquecimento e arrefecimento, água quente, ventilação e iluminação) e para cada vetor energético;
4. Subtração, à eletricidade utilizada, da eletricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis gerada e utilizada in situ;
5. Cálculo da energia fornecida para cada vetor de energia como a soma das utilizações de energia (não cobertas pelas FER);
6. Cálculo da energia primária associada à energia fornecida, utilizando fatores de conversão nacionais;
7. Cálculo da energia primária associada à energia exportada para o mercado (por exemplo, produzida por fontes de energia renováveis in situ);
8. Cálculo da energia primária como a diferença entre o ponto 6 e o ponto 7.

O mesmo Anexo recomenda que, para se obterem resultados fiáveis no cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade, se definam claramente a metodologia de cálculo, tendo em conta a legislação e regulamentação nacionais, bem como os limites do sistema estabelecido para avaliar o desempenho energético. Os cálculos, recorrendo a um método dinâmico, devem ser efetuados dividindo o ano em várias partes (sejam meses, dias, horas, etc.) e no fim somar os consumos de energia calculados em todas essas partes. Deve-se, também, definir o conforto térmico em termos de temperatura operacional no interior.

É, ainda, sugerido que se utilize a abordagem holística na interação entre um edifício e os seus sistemas, isto é, o efeito de todos os ganhos de calor associados a estes é tido em conta no cálculo das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, e que se proceda à verificação do impacto das estratégias de iluminação natural recorrendo a simulações dinâmicas.

2.4. Cálculo do custo global, expresso em Valor Atual Líquido, para cada edifício de referência;

Nos termos do anexo III da Diretiva 2010/31/UE e do anexo I do Regulamento, o quadro metodológico para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade baseia-se na metodologia do valor atual líquido (custos globais). A grande vantagem desta, em relação ao método das anuidades, reside no facto de permitir a utilização de um período de cálculo uniforme, em que os equipamentos duradouros são tidos em conta através do seu valor residual, e utilizar o cálculo dos custos do ciclo de vida.

2.4.1 Categorias de custos (definição e descrição das categorias de custos específicas a utilizar)

Os Estados-membros devem definir, e descrever, as seguintes categorias de custos específicas a utilizar:

- Custos iniciais de investimento, que incluem os honorários (como a conceção de projetos), construção de ativos, impostos (se aplicáveis) e outros, como, por exemplo, contingências dos projetos;
- Custos anuais, que incluem os custos da substituição periódica de componentes do edifício e os custos de funcionamento, que se dividem em três: custos de energia (que refletem o custo global de energia, incluindo preço, tarifas de capacidade e tarifas de rede), custos operacionais e custos de manutenção. Podem, também, incluir a receita decorrente da energia produzida, se esta existir e for relevante;
- Custos de eliminação, se existirem;
- Custos das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), quando se efetua o cálculo a nível macroeconómico, que representam o valor monetário dos danos ambientais causados pelas emissões de CO₂ relacionadas com o consumo energético de um edifício.

Os custos da energia são baseados no consumo, na dimensão do edifício, nas taxas atuais e nas previsões de preços e estão diretamente ligados ao resultado do cálculo de desempenho energético, isto é, dependem das características sistémicas do edifício. Por outro lado, as outras categorias de custos estão relacionadas com as componentes específicas do edifício.

2.4.2 Princípios gerais para o cálculo dos custos

- i) Para projetarem a evolução do custo da energia, os Estados-Membros podem utilizar as previsões, presentes no Anexo, relativamente ao petróleo, gás natural, carvão e eletricidade. Estas foram obtidas a partir de cenários das tendências da energia elaborados com o modelo Primes, que é um sistema de modelização que simula uma solução de equilíbrio do mercado para a oferta e procura de energia na União Europeia a 27 e nos seus Estados-Membros. Em 2009, a UE previu, até 2030, que o preço do petróleo irá aumentar 2,8% por ano, o gás natural também registará um aumento de 2,8% anuais, e o

carvão 2%. Os Estados-Membros devem também elaborar previsões nacionais de evolução dos preços da energia relativamente a outros vetores utilizados de forma significativa no contexto regional e, se pertinente, às tarifas de ponta. Já a eletricidade custará, em média, 108,4 EUR/MWh em 2020 e 112,1 EUR/MWh em 2030, em termos reais (relativamente aos valores monetários de 2005).

- ii) Os custos iniciais de investimento e os custos de eliminação, referidos no tópico anterior, devem basear-se no mercado e ser coerentes em termos geográficos e temporais. Estes devem ser expressos em termos reais, ignorando a inflação.
- iii) Há certos custos que podem ser omitidos do cálculo dos custos globais, visto que este incide na comparação de pacotes/variantes, e não na avaliação dos custos totais para o investidor e para o utilizador do edifício. São os seguintes:
 - Custos relativos a componentes que não influenciam o desempenho energético do edifício, tais como o revestimento do pavimento e a pintura das paredes. É, no entanto, necessário verificar se esses mesmos componentes não alteram o desempenho;
 - Os custos que são idênticos para todos os pacotes/variantes avaliados para um determinado edifício de referência. Podem ser, por exemplo, terraplanagens e alicerces, escadas e elevadores, para edifícios novos, ou andaimes e demolição, no caso de grandes obras de remodelação.
- iv) O valor residual é determinado pela depreciação (ou desvalorização) linear do investimento inicial ou do custo de substituição de um componente do edifício até ao final do período de cálculo, relativamente ao início desse mesmo período. O tempo da depreciação é definido pelo ciclo de vida económico do edifício ou de um componente do mesmo.
- v) Os custos de eliminação, se forem relevantes, devem ser descontados, podendo ser subtraídos ao valor final.
- vi) No final do período de cálculo, os custos de eliminação do valor residual das componentes do edifício, se forem relevantes, são tidos em conta para calcular os custos finais no ciclo de vida económico estimado do edifício.
- vii) Os Estados-Membros devem utilizar um período de 20 anos para os escritórios.

Lista indicativa dos elementos a ter em conta para calcular os custos de investimento inicial do edifício ou das suas componentes:

- i) Para a envolvente do edifício, é sugerido ter em conta alguns elementos, entre eles:
- Isolamento da envolvente do edifício:
 - Produtos de isolamento e produtos adicionais para a sua aplicação;
 - Custos de conceção;
 - Custos de instalação do isolamento (barreiras ao vapor de água, membranas de impermeabilização, medidas para assegurar a estanquidade ao ar e medidas para reduzir os efeitos das pontes térmicas).
 - Janelas e portas:
 - Envidraçamento e/ou melhoria do mesmo;
 - Caixilhos, juntas e vedantes;
 - Custos de instalação.
- ii) Para os sistemas do edifício:
- Aquecimento de espaços:
 - Equipamentos de produção e armazenamento (caldeiras, tanques de armazenamento, comandos de produção de calor);
 - Distribuição (bombas de circulação, válvulas, comandos de distribuição);
 - Emissores (radiadores, aquecimento pelo teto e pavimento, comandos das emissões);
 - Custos de conceção e instalação.
 - Água quente para uso doméstico:
 - Produção e armazenamento (sistemas solares térmicos, caldeiras, depósito de armazenamento, comandos de produção de calor);
 - Distribuição (bombas, válvulas, comandos);
 - Emissores (torneiras, aquecimento de pavimento, comando das emissões);
 - Custos de conceção e instalação (incluindo isolamento do sistema e canalização).
 - Sistemas de ventilação:
 - Os seus custos devem ser avaliados no que respeita aos investimentos.

- Equipamentos de produção e recuperação de calor (permutador, pré-aquecedor, unidade de recuperação, comandos de produção);
- Distribuição (ventiladores, bombas, válvulas, filtros, comandos);
- Emissores (condutas, saídas, comandos);
- Custos de conceção e instalação.
- Arrefecimento:
 - Equipamentos de produção e armazenamento;
 - Distribuição;
 - Emissores (teto/pavimento/vigas, ventiloconvectores, comandos das emissões);
 - Custos de conceção e instalação.

É importante notar que estas se referem apenas aos sistemas de arrefecimento ativo. Quanto ao arrefecimento passivo, as medidas são abrangidas na definição do edifício de referência, na categoria de isolamento térmico, entre outras.

- Iluminação:
 - Tipos de fonte de luz e luminárias e seus sistemas de comando;
 - Aplicações para aumentar a utilização da luz natural;
 - Instalação.
- Domótica e dispositivos de comando dos edifícios:
 - Sistemas de gestão do edifício que introduzam funções de supervisão;
 - Informação técnica, dispositivo de comando central;
 - Comandos (produção, distribuição, emissores, bombas de circulação), já referidos nos pontos anteriores;
 - Atuadores (produção, distribuição, emissores);
 - Custos de conceção, instalação e programação.
- Ligação aos fornecedores de energia (rede ou armazenamento):
 - Custos da primeira ligação à rede de energia (por exemplo, redes urbanas de aquecimento, sistema fotovoltaico);
 - Tanques de armazenamento de combustíveis;
 - Instalações conexas necessárias.
- Sistemas descentralizados de abastecimento de energia baseados em energias renováveis: Produção, distribuição, dispositivos de comando e instalação.

2.5. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados, incluindo o preço da energia;

O objetivo da análise de sensibilidade consiste em identificar os parâmetros mais importantes de um cálculo de otimização de rentabilidade. Como já foi anteriormente referido, os Estados-membros devem fazer uma análise de sensibilidade para, pelo menos, duas taxas de desconto diferentes, para o cálculo financeiro e, de igual forma, para o cálculo macroeconómico. Devem, também, efetuar uma análise de sensibilidade dos cenários de evolução dos preços da energia para todos os vetores utilizados de forma significativa nos edifícios. Para tal, é aconselhável recorrerem às previsões da evolução dos preços elaboradas pela Comissão Europeia, já referidos anteriormente nesta tese.

2.6. Obtenção de um nível ótimo de rentabilidade dos custos de desempenho energético para cada edifício de referência.

O nível ótimo de rentabilidade não é calculado para cada caso, mas sim para desenvolver disposições regulamentares aplicáveis a nível nacional. De facto, deverão haver diferentes níveis ótimos de rentabilidade, tendo em conta a função do edifício em questão e as perspetivas e expectativas que os investidores tenham acerca das condições de investimento aceitáveis; ou seja, os níveis ótimos de rentabilidade não serão iguais para cada combinação edifício/investidor. No entanto, se os Estados-membros adotarem uma abordagem sólida na determinação dos edifícios de referência, estes podem assegurar que os requisitos aplicáveis são adequados à maioria dos edifícios.

Para cada edifício de referência, os Estados-membros devem comparar os custos globais obtidos para várias medidas/pacotes/variantes. No caso dos cálculos de otimização de custos fornecerem os mesmos custos globais para diferentes níveis de eficiência energética, é recomendado aos Estados-membros utilizarem requisitos que resultem num menor consumo de energia primária como base para a comparação com os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor.

Quando um Estado-membro decidir qual o cálculo (financeiro ou macroeconómico) que se tornará o padrão de referência nacional, deverá determinar as médias dos níveis de otimização da rentabilidade da eficiência energética calculados para todos os edifícios de referência utilizados, para poder comparar com as médias dos requisitos de eficiência energética em vigor para os edifícios de referência em causa. Pode, assim, determinar a diferença entre os requisitos em vigor e os níveis de otimização de rentabilidade calculados.

Com base nos cálculos da utilização de energia primária e dos custos globais associados às diversas medidas/pacotes/variantes avaliados para os edifícios de referência definidos, podem ser elaborados gráficos por edifício de referência que descrevam a utilização de energia primária e os custos globais das diversas soluções, tal como demonstrado na Figura 2.

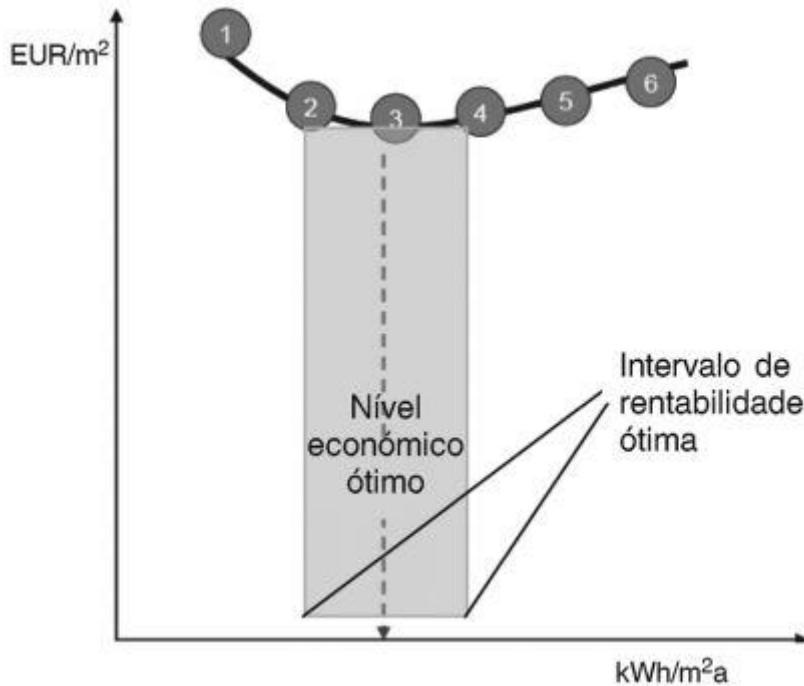


Figura 2 – Diferentes variantes e posição do intervalo de rentabilidade ótima. [Fonte: Anexo do Regulamento]

A combinação de pacotes/variantes com o custo mais baixo corresponde ao ponto mais baixo da curva (neste caso, é o 3). A sua posição no eixo das abcissas indica automaticamente o nível ótimo de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético.

Em relação às componentes do edifício, os níveis ótimos de rentabilidade são avaliados mediante a fixação de todos os parâmetros e variando o desempenho de uma componente específica. As propriedades das componentes que apresentem custos mais baixos indicarão o nível ótimo de rentabilidade.

Por fim, é necessário comparar os atuais requisitos aplicáveis em cada Estado-membro com os níveis ótimos de rentabilidade calculados, para se obter a diferença entre eles. Assim, deve-se aplicar os regulamentos em vigor ao edifício de referência, o que implica determinar o consumo de energia primária do edifício, seguindo as indicações do ponto 2.3. A diferença obtém-se ao subtrair os requisitos mínimos de desempenho atuais aos níveis ótimos de rentabilidade, dividir esse valor pelos níveis ótimos de rentabilidade e, finalmente, multiplicar por 100%.

Na Tabela 2 estão os exemplos de medidas de eficiência sugeridas pelo Regulamento.

Tabela 2 - medidas de eficiência sugeridas no Regulamento

Medidas Regulamento UE
Melhoramento paredes/fachada/telhado/solo e/ou isolamento
Aumento da inércia térmica
Otimização da área envidraçada
Ventilação noturna
Orientação do edifício e exposição solar
Instalação/melhoria sistema de aquecimento
Instalação/melhoria sistema de AQS
Instalação/melhoria ventilação
Instalação/melhoria sistema arrefecimento
Iluminação natural e/ou sistema de iluminação ativa
PV
Mudança para um vetor energético mais eficiente
Sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento solares

3. Análise comparativa dos estudos de vários Estados-Membros

Nesta secção, é feita uma análise comparativa e crítica de relatórios dos custos ótimos de rentabilidade de alguns Estados-Membros da União Europeia em termos da geometria e arquitetura dos edifícios de referência, bem como dos coeficientes de transmissão térmica dos vários componentes, dos sistemas de iluminação, climatização, AQS, entre outros, e respetivos custos. Os relatórios que serão analisados são os de Portugal, Espanha, Chipre, Reino Unido, Irlanda, Bélgica, Itália e Dinamarca. Esta escolha teve várias razões, entre as quais se destacam o facto de estarem escritos em inglês, francês ou italiano, enquanto os restantes países escreveram nas respetivas línguas nativas, não tendo o autor deste trabalho as capacidades linguísticas para os analisar.

3.1. Edifícios de Referência

Neste capítulo, serão analisados os parâmetros-chave para a definição de um edifício de referência de modo a obter-se um edifício de referência médio, bem como valores mínimos e máximos relativos à geometria, arquitetura, coeficientes de transmissão térmica e sistemas. Com estas três gamas de dados, será efetuada, num capítulo mais à frente, uma análise comparativa dos diferentes edifícios de referência obtidos (médio, mínimo e máximo), de modo a ser possível tirar ilações relativamente às reais necessidades energéticas e, conseqüentemente, das medidas e intervenções a considerar num determinado edifício.

3.1.1. Geometria/Arquitetura

Os edifícios de referência escolhidos por cada Estado-membro seguem, de uma forma geral, as indicações do Regulamento, descritas no capítulo anterior. De seguida, estão apresentados gráficos representativos de vários parâmetros da geometria e da arquitetura dos edifícios de referência de escritórios dos países em estudo, cujos objetivos são demonstrar a grande variabilidade dentro de cada parâmetro e, por outro lado, obter um valor médio para cada um deles. Conseqüentemente, obter-se-á um edifício de referência médio, dimensionado utilizando os referidos valores médios de cada parâmetro, que será utilizado nos capítulos que se seguem. De maneira análoga, serão dimensionados um edifício com valores mínimos e outro com valores máximos.

Na Figura 3, pode-se observar um exemplo de um modelo de edifício de referência de escritórios.

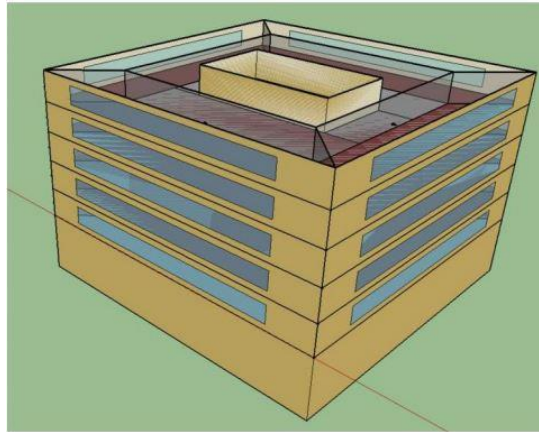


Figura 3 – Modelo de um edifício de escritórios. [Fonte: Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes dos edifícios, LNEC]

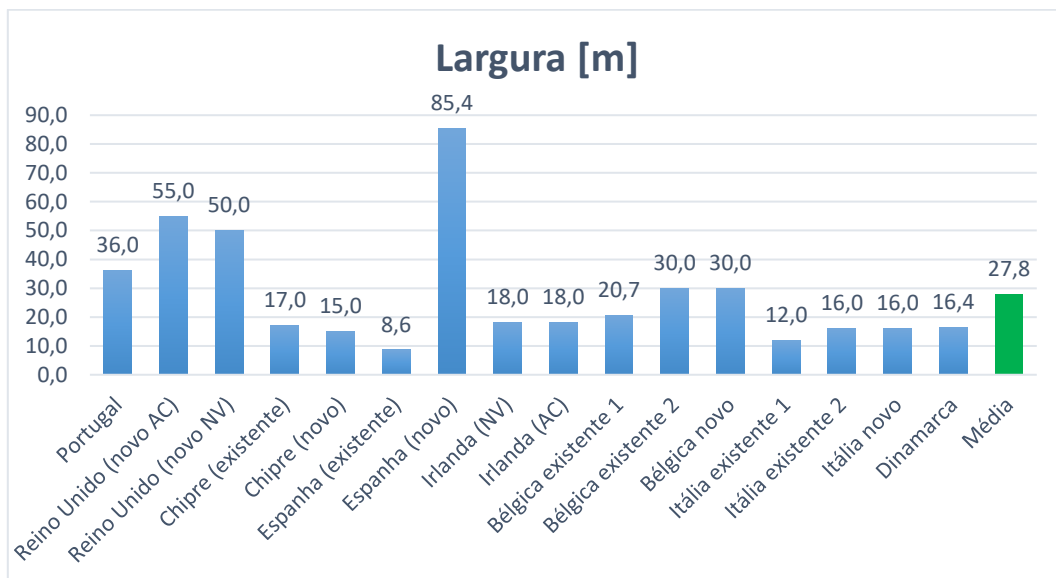


Figura 4 - Largura dos edifícios de referência de escritórios para os vários países em análise.

No gráfico da Figura 4, é possível verificar que a maioria dos edifícios em estudo apresenta uma largura dentro duma gama relativamente restrita, sendo que apenas o edifício de referência novo de Espanha e os do Reino Unido apresentam uma enorme discrepância relativamente aos restantes.

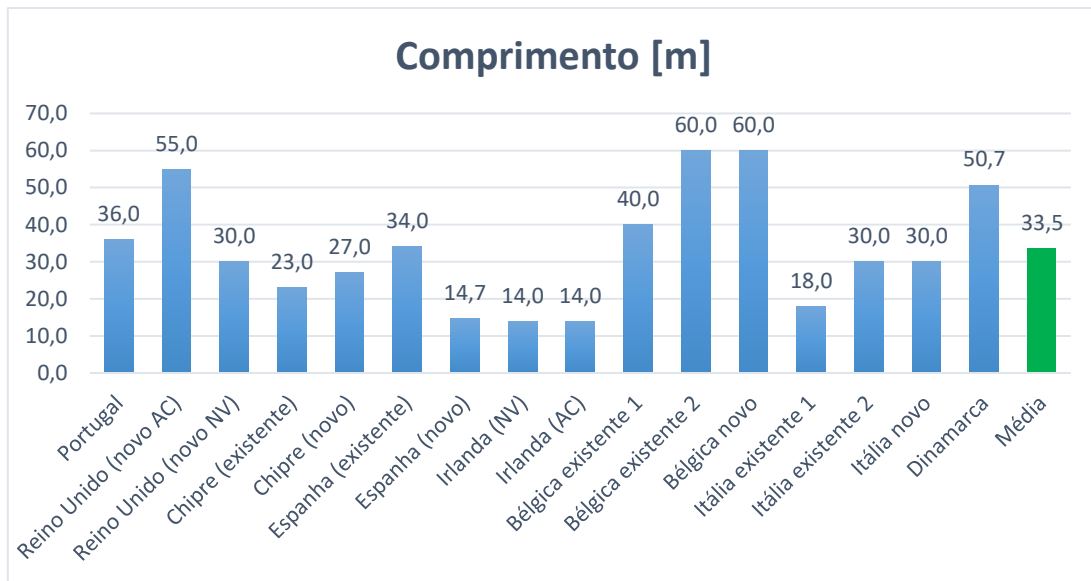


Figura 5 - Comprimento dos edifícios de referência de escritórios para os vários países em análise.

No gráfico acima exposto (Figura 5), observa-se que o edifício dinamarquês, o novo com climatização do Reino Unido e dois dos belgas estão bastante acima da média (33,5m). Por outro lado, os edifícios de Espanha (novo), Irlanda, e Itália (existente), são muito inferiores ao valor médio.



Figura 6 - Área útil de pavimento para os vários edifícios de referência.

No que diz respeito à área útil de pavimento, as variações de edifício para edifício são enormes, como está demonstrado no histograma da Figura 6. O valor mais alto corresponde ao edifício novo climatizado do Reino Unido, que é cerca de 6 vezes superior à média.



Figura 7 - Número de pisos dos diferentes edifícios de referência de escritórios.

Pela Figura 7, pode-se constatar que existe uma variabilidade considerável do número de pisos por edifício. O valor mais alto é de 10 pisos, enquanto o mais baixo é de 2; a média obtida, tal como o gráfico demonstra, é de 5 pisos por edifício.

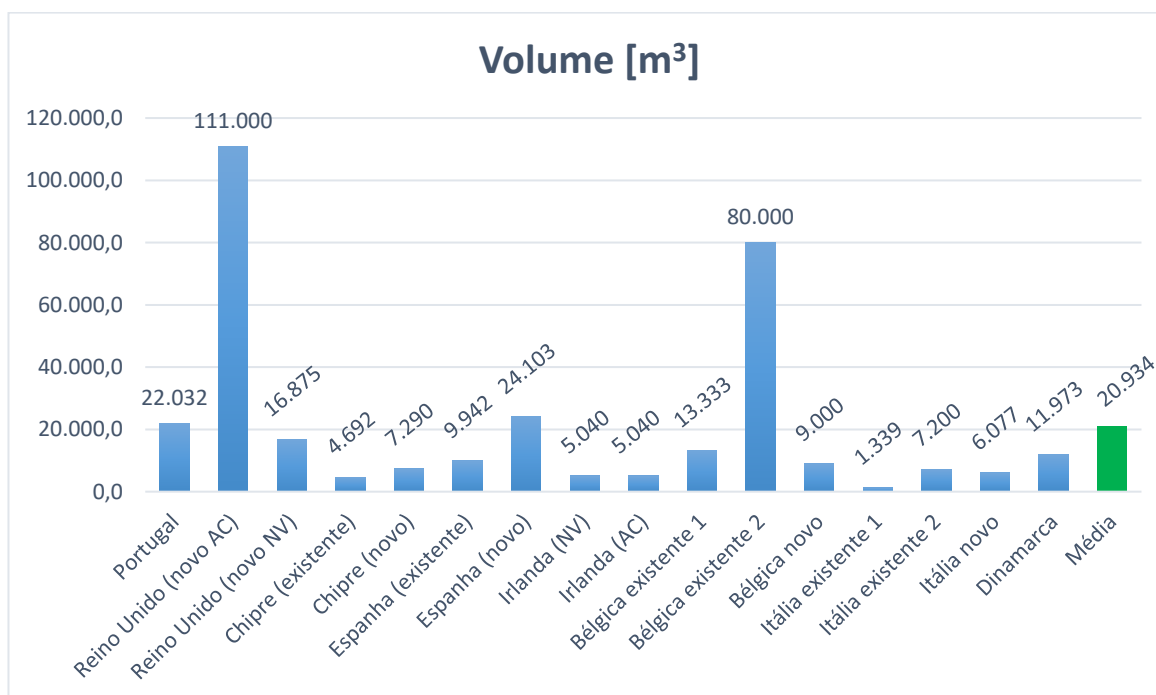


Figura 8 - Volume dos vários escritórios analisados.

De forma análoga ao gráfico da área útil de pavimento, na Figura 8 pode-se ver que o valor do Reino Unido é muito superior ao dos restantes e, conseqüentemente, ao valor médio. É, ainda, importante realçar que o segundo edifício de referência existente estudado no relatório belga apresenta um volume de igual forma elevado, sendo cerca de 4 vezes superior à média.

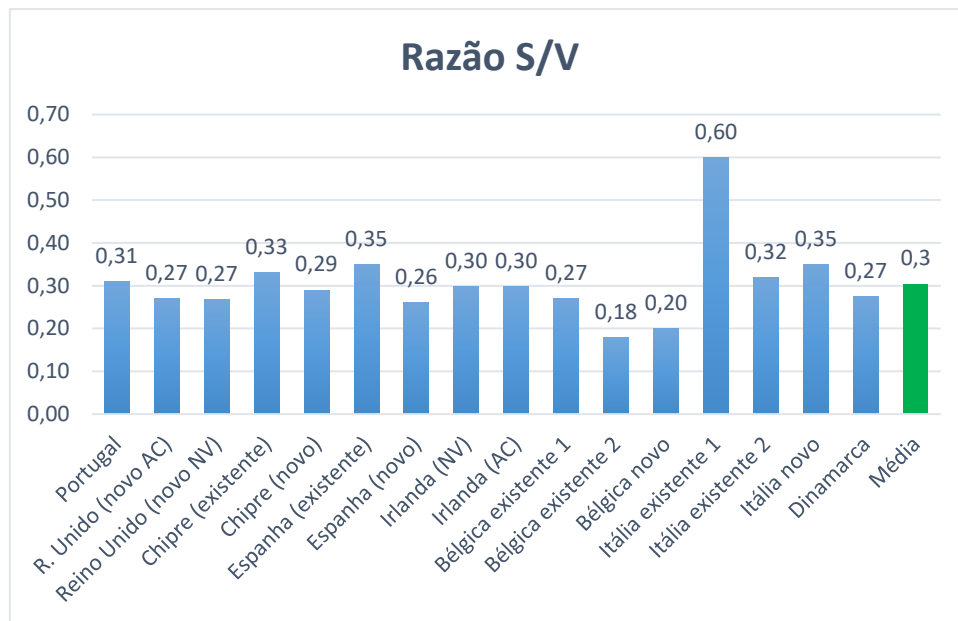


Figura 9 – Razão entre a superfície e o volume dos escritórios de cada país em análise.

Observando a Figura 9, é possível constatar que, excetuando um dos edifícios existentes de Itália, os valores dos vários edifícios em estudo não se afastam muito do valor médio.

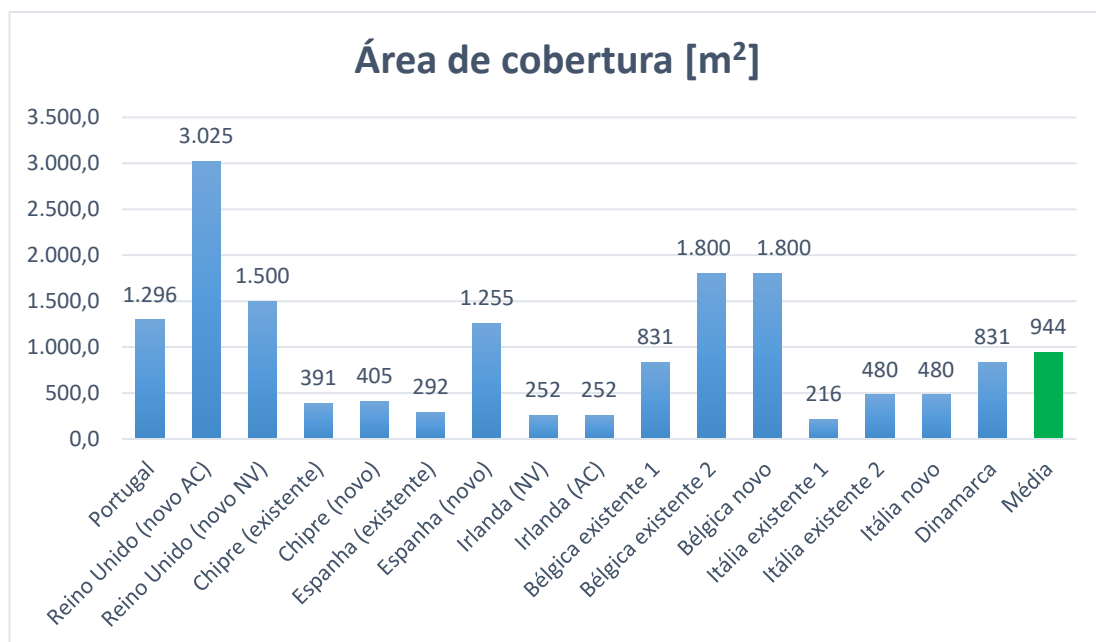


Figura 10 - Área de cobertura dos diversos edifícios de referência em estudo.

Na Figura 10 estão apresentados os valores das áreas de cobertura para os vários edifícios, sendo possível observar que existe uma variabilidade considerável dos mesmos.

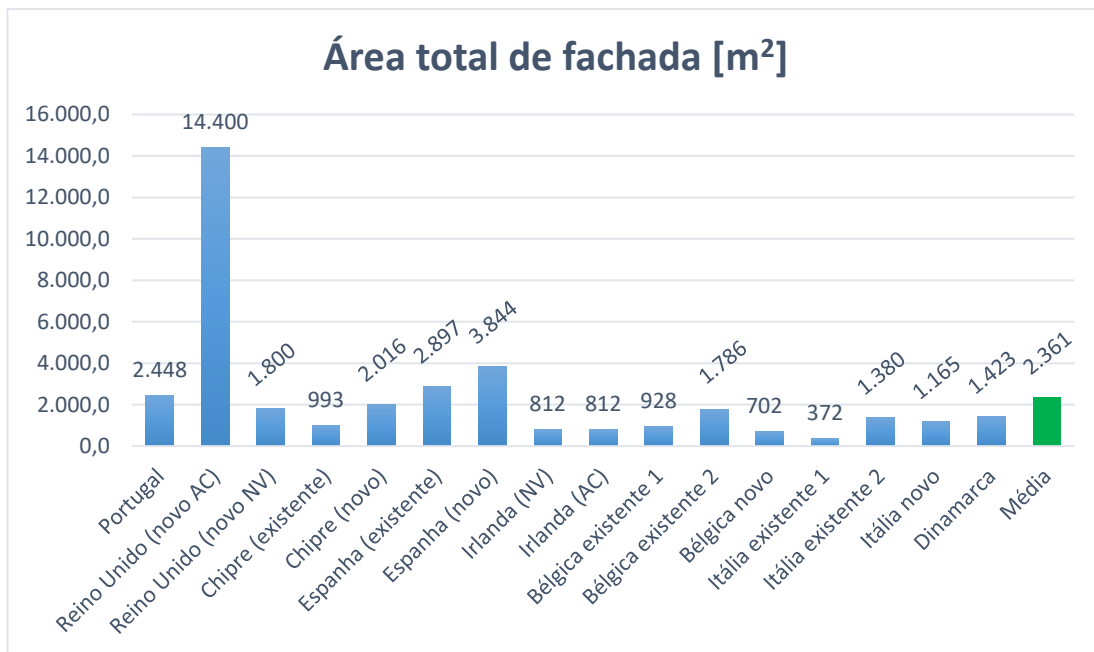


Figura 11 - Área total de fachada dos vários escritórios em análise.

Na Figura 11 é possível ver que a área total de fachada do edifício com climatização do Reino Unido é muito superior à média. No entanto, e tal como nos gráficos relativos às áreas de cobertura, pode-se observar na Figura 12 que, ainda para o referido edifício, a área de fachada em relação à área total de pavimento está, inclusivamente, abaixo da média.

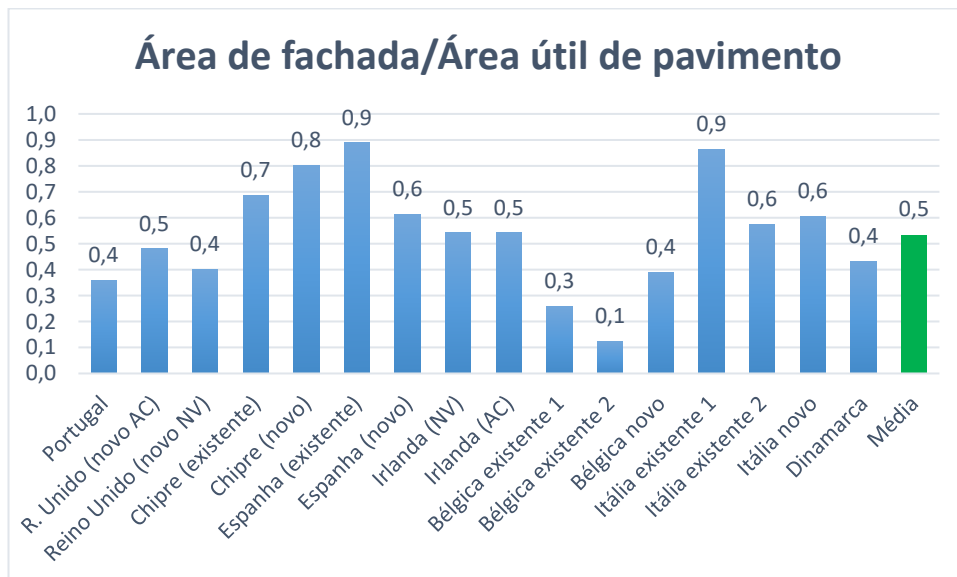


Figura 12 - Rácio entre as áreas de fachada e de pavimento para os diferentes edifícios de referência.

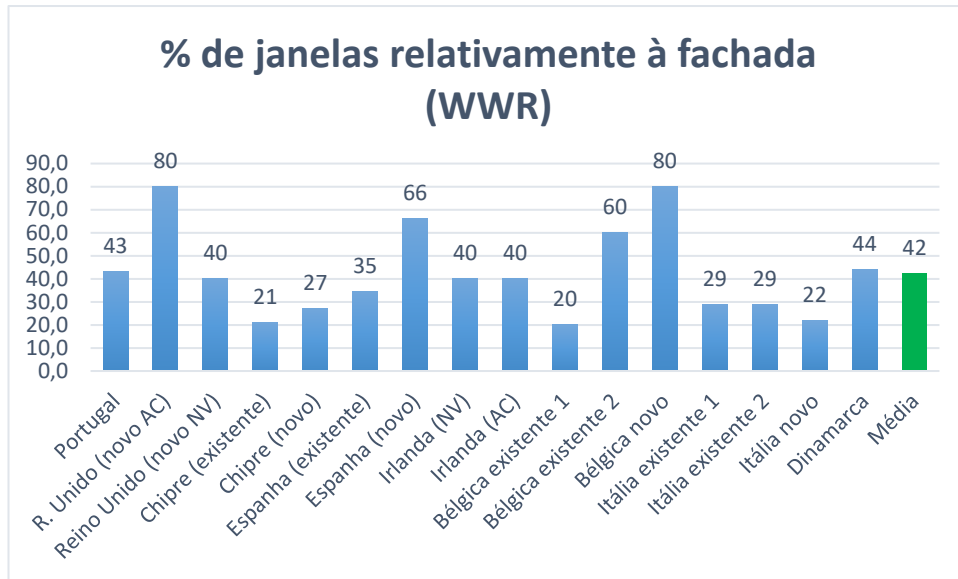


Figura 13 - rácio de janelas relativamente à fachada dos vários escritórios analisados.

Na Figura 13 estão apresentados os rácios de área de janela por área de fachada (*window to wall ratio*) ou, por outras palavras, a percentagem da área total de janelas relativamente à área total da fachada. Existe uma variabilidade considerável, sendo a média 42%.

Síntese dos parâmetros analisados

Por fim, obtém-se um edifício de referência médio, tendo em conta todos os parâmetros apresentados nos gráficos anteriores, utilizando os valores médios obtidos para cada parâmetro, exceto o pé direito médio, que foi obtido pela divisão do volume médio pela área útil de pavimento média. Obtém-se, da mesma maneira, os parâmetros para os edifícios de referência mais pequeno e de maior dimensão.

Tabela 5 - Edifícios-tipo de referência de escritórios

Parâmetros	Menor	Média	Maior
Largura [m]	8,6	27,8	55
Comprimento [m]	14	33,5	55
Área útil de pavimento total [m ²]	432	5.354,2	30.000
Pé direito médio [m]	2,65	3,2	3,80
Nº de pisos	2	5	10
Volume [m ³]	1.339	20.933,5	111.000
S/V	0.60	0,3	0.27
Área de cobertura [m ²]	216	944,2	3.025
Área total de fachada [m ²]	372,4	2.361,1	14.400
% de janelas relativamente à fachada (WWR)	29	42,2	80
Área de fachada/Área útil de pavimento	0,9	0,5	0,5

Como se pode observar na Tabela 5, existem variações bastante significativas para os vários parâmetros analisados, justificando a autonomia para cada estado-membro definir os seus edifícios de referência. Para a fase subsequente deste estudo, serão adotadas as seguintes gamas de parâmetros: médio, mínimo e máximo.

3.1.2. Coeficientes de transmissão térmica

Nesta secção, estão apresentados os coeficientes de transmissão térmica das paredes, das coberturas, dos pavimentos e dos vãos envidraçados dos vários países em análise. Os coeficientes apresentados de seguida são os de referência.

É importante realçar que os vários gráficos que se seguem não contêm todos os edifícios analisados, uma vez que, nos relatórios dos vários países, existem informações que estão omissas ou demasiado confusas para se poder retirar o valor pretendido e, por isso, os edifícios apresentados num determinado gráfico poderão não estar expostos nos outros gráficos.

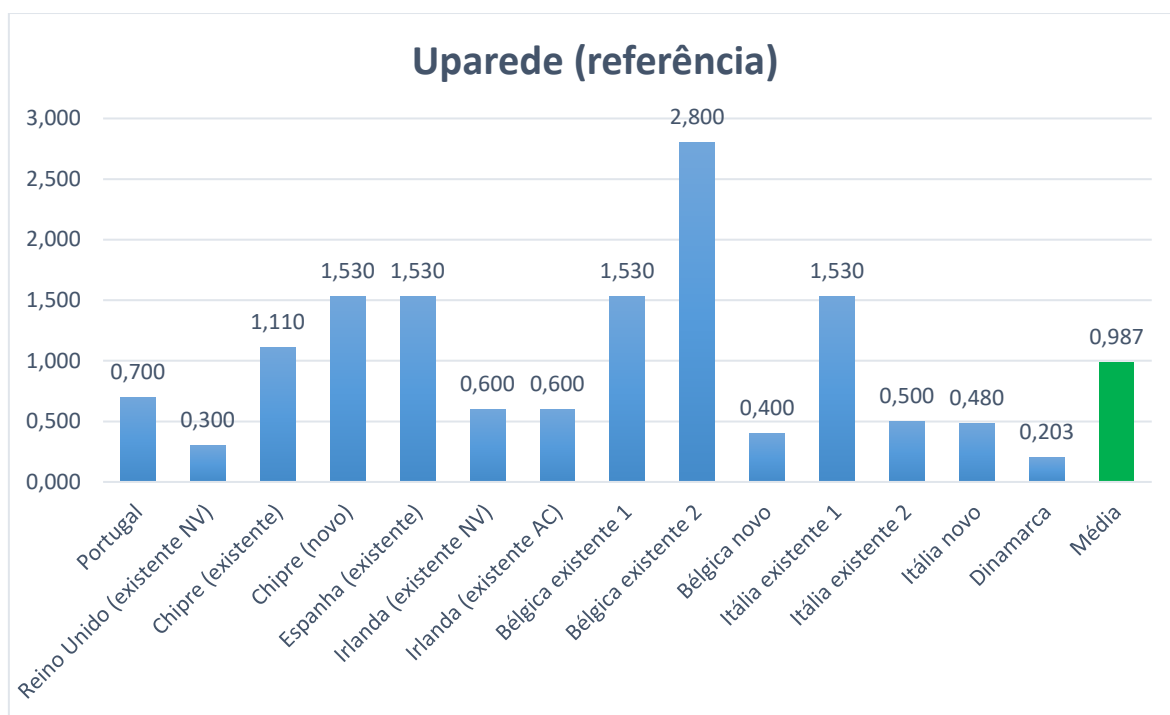


Figura 14 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] das paredes dos vários edifícios de referência em análise.

Como é possível observar no gráfico da Figura 14, existe uma grande variação entre os edifícios dos vários países; esta era expectável, dado que as condições exteriores são muito diferentes entre certos países, sendo a temperatura um fator de grande peso. Por outro lado, dentro do mesmo país, também existem discrepâncias, como no exemplo dos edifícios da Bélgica. O edifício de referência novo apresenta um U muito inferior aos edifícios de referência existentes, devido à evolução das exigências de qualidade construtiva.

O valor mais elevado é, precisamente, de um dos edifícios existentes da Bélgica (2,800 W/m².K), enquanto o menor é registado na Dinamarca (0,203 W/m².K). A média de todos os edifícios analisados foi de 0,987 W/m².K.

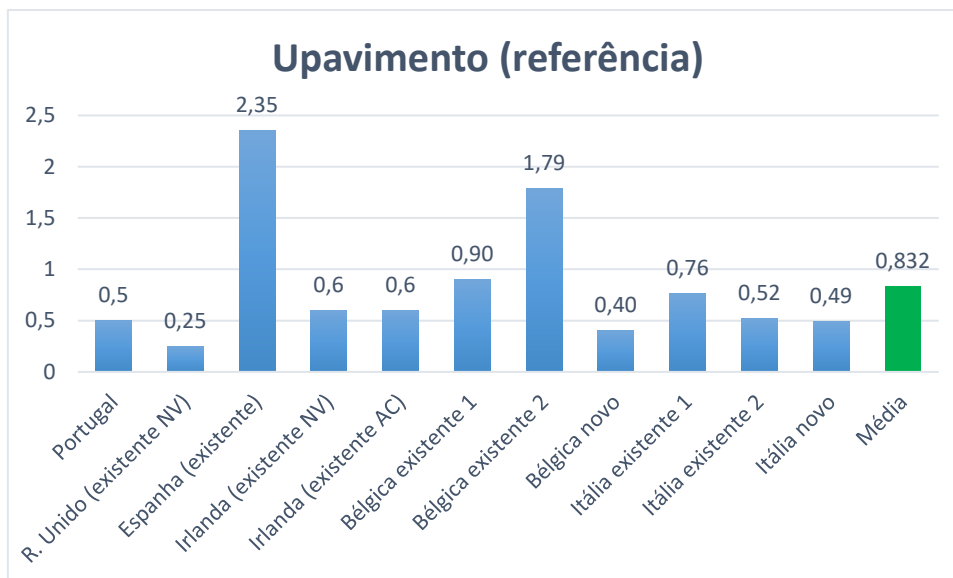


Figura 15 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] do pavimento dos vários edifícios de referência em análise.

Na figura anterior estão representados os coeficientes de transmissão térmica do pavimento dos edifícios analisados. Pode-se constatar que o valor mais elevado corresponde ao do edifício espanhol (2,35 W/m².K), enquanto o menor é o do Reino Unido (0,25 W/m².K). O valor médio situa-se à volta de 0,832 W/m².K.

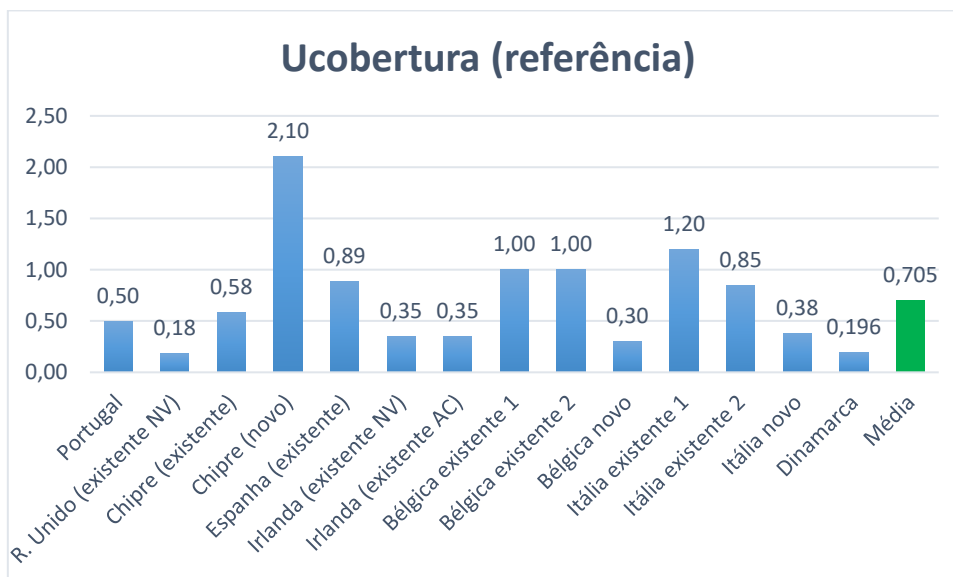


Figura 16 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] da cobertura dos vários edifícios de referência em análise.

Na Figura 16 estão apresentados os valores dos coeficientes de transmissão térmica para os edifícios de referência dos países em análise. Como é possível observar, é no Chipre que o valor é mais elevado (2,10 W/m².K), enquanto o mais baixo é o do Reino Unido (0,18 W/m².K). O valor médio obtido é de 0,705 W/m².K.

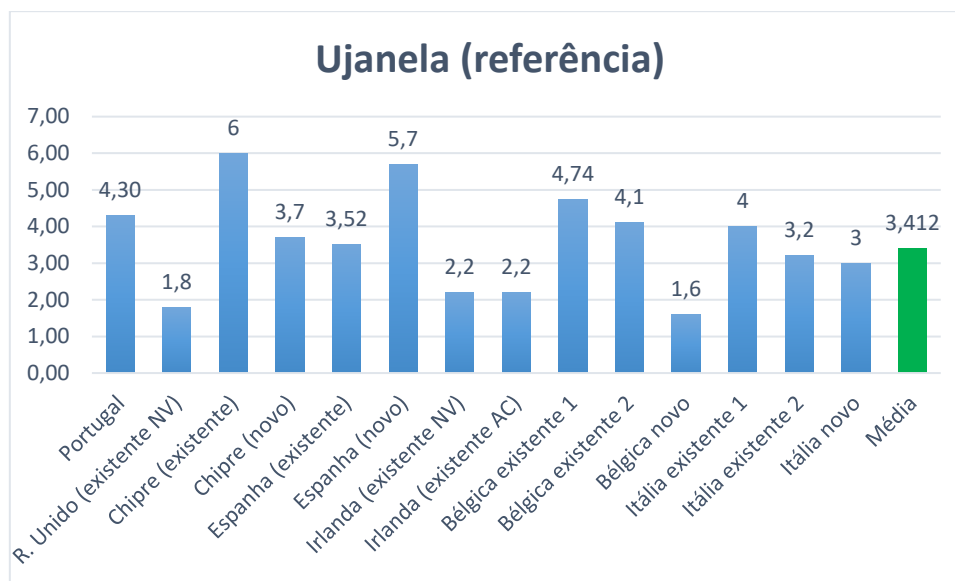


Figura 17 – Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] dos vãos envidraçados dos vários edifícios de referência em análise.

Quanto aos coeficientes de referência dos vãos envidraçados, na Figura 17 pode-se observar que o Chipre apresenta o valor mais alto (6,00 W/m².K) e a Bélgica o mais baixo (1,60 W/m².K). O valor médio fixa-se em 3,412 W/m².K.

Na Tabela 6, estão apresentados os valores médios, os mais baixos e os mais altos dos coeficientes de transmissão térmica analisados.

Tabela 6 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] dos vários elementos dos edifícios de referência médio, qualidade térmica inferior e superior **alguns valores estão errados**

	Inferior	Médio	Superior
Parede	2,800	0,987	0,203
Pavimento	2,350	0,832	0,250
Cobertura	2,100	0,705	0,180
Vãos Envidraçados	6,000	3,412	1,600

De forma semelhante ao que foi elaborado relativamente aos parâmetros geométricos e arquitetónicos na Tabela 5 da secção anterior, os coeficientes de transmissão térmica listados na Tabela 6 apresentam uma enorme variação entre si, para cada elemento analisado. Assim, com estes dados, será possível contribuir para um estudo de comparação mais completo, na medida em que se poderão realizar mais cruzamentos de variáveis; isto é, para um edifício de referência de geometria “média”, poder-se-á estudá-lo utilizando coeficientes de transmissão térmica médios, inferiores e superiores, assim como para os outros dois casos de edifícios com geometria diferente, sendo também um estudo reversível, variando a geometria e mantendo os coeficientes de transmissão térmica.

3.1.3. Sistemas

Neste subcapítulo, estão apresentados alguns dados relativos aos sistemas. Excetuando o relatório português, a maioria dos países não expôs de forma clara os vários parâmetros, ou não os apresentou de todo. Por esta razão, não estão representados todos os países em estudo ao longo desta dissertação e, tal como nas secções anteriores, os edifícios de um gráfico podem não estar todos incluídos nos outros gráficos.

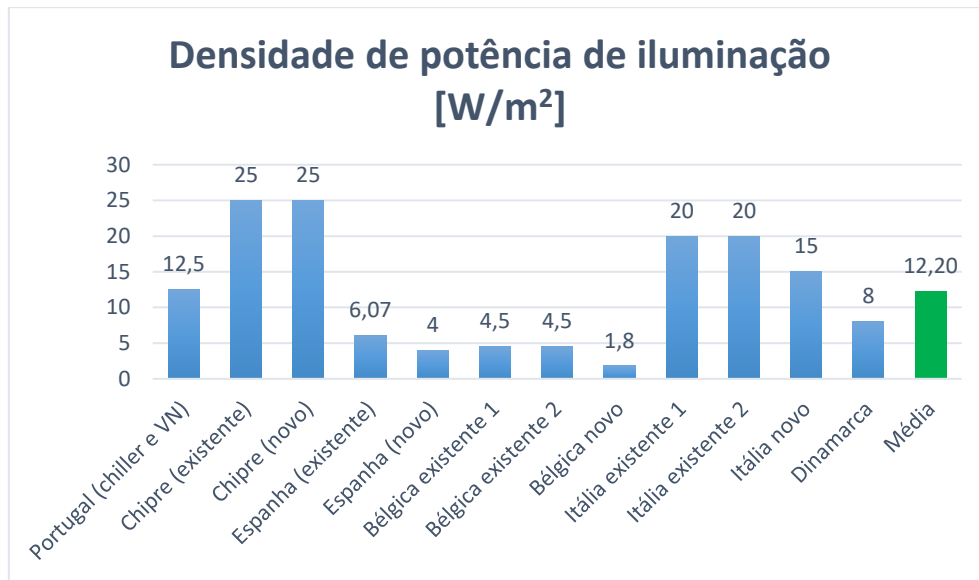


Figura 18 – Densidade de potência [W/m²] dos sistemas de iluminação dos vários edifícios de referência em análise.

Na Figura 18 estão identificadas as diferentes densidades de potência dos sistemas de iluminação de vários edifícios de referência em análise. Como é possível constatar, os edifícios cipriotas apresentam o valor mais alto (25 W/m²), enquanto os belgas têm os mais baixos. O valor médio calculado é 12,20 W/m².

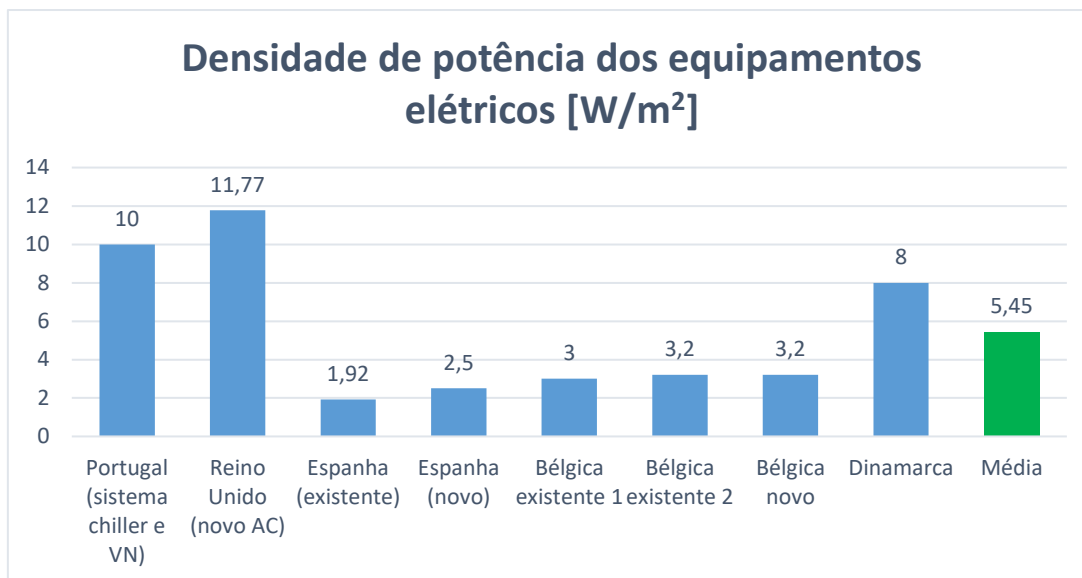


Figura 19 - Densidade de potência [W/m²] dos equipamentos elétricos dos edifícios de referência estudados.

Na Figura 19 estão apresentados os valores correspondentes à densidade de potência dos equipamentos elétricos presentes nos vários edifícios de referência analisados. Como é possível reter, o valor mais elevado corresponde ao edifício climatizado do Reino Unido, com 11,77 W/m², o mais baixo pertence ao edifício de referência existente espanhol (1,92 W/m²), e a média é de 5,45 W/m².

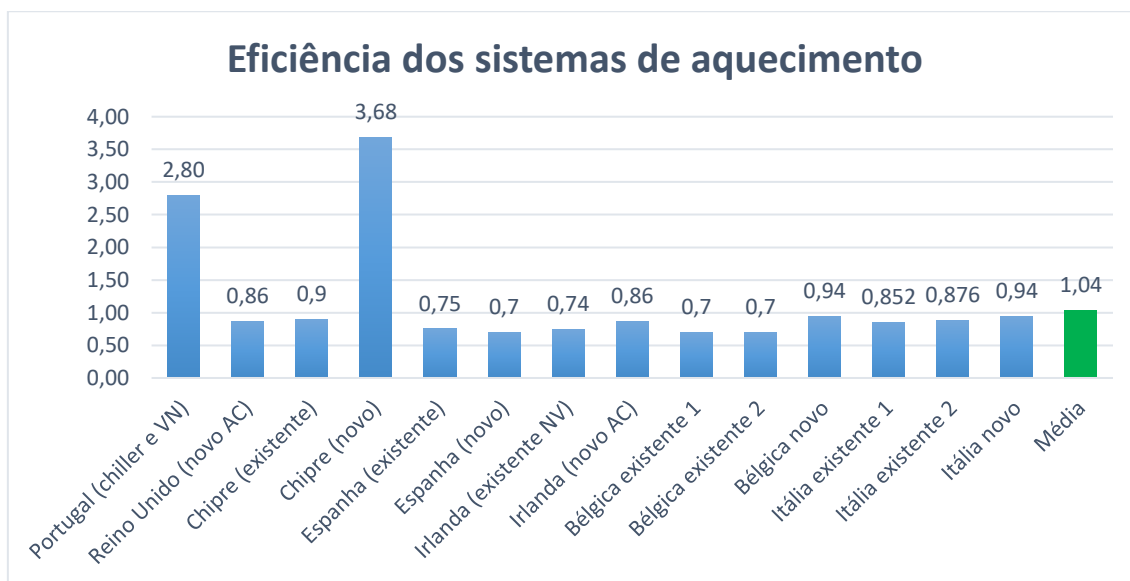


Figura 20 – Eficiência dos sistemas de aquecimento dos diferentes edifícios de referência analisados.

No gráfico acima apresentam-se os valores de eficiência dos sistemas de aquecimento dos edifícios de referência. O edifício de referência novo exposto no relatório do Chipre tem o valor de COP mais alto, 3,68, seguido do edifício português analisado para este parâmetro, 2,80. Os restantes edifícios apresentam valores de eficiência significativamente mais baixos, uma vez que, ao contrário dos dois casos referidos, não recorrem a bombas de calor, utilizando sistemas a gás, por exemplo. O valor médio calculado é um COP de 1,04.

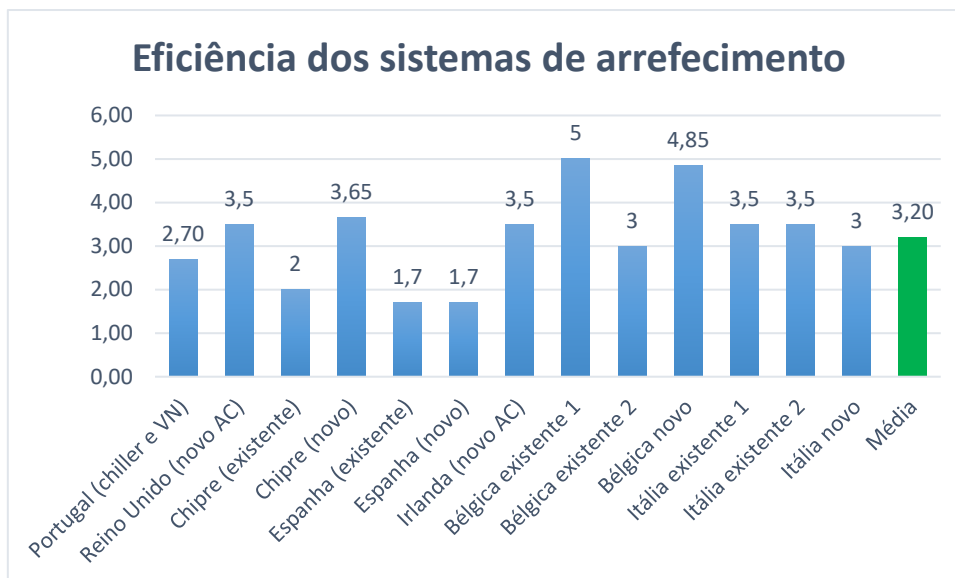


Figura 21 – Eficiência dos sistemas de arrefecimento dos vários edifícios de referência estudados.

Já os sistemas de arrefecimento (Figura 21) apresentam valores de EER compreendidos entre 1,70 (Espanha) e 4,85 (Bélgica), sendo a o valor médio 3,20.

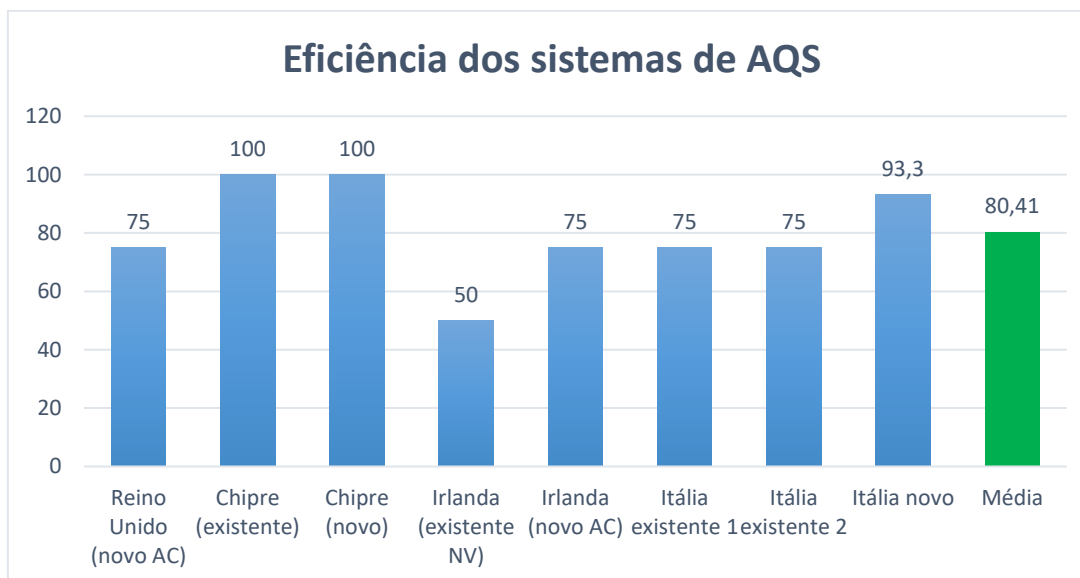


Figura 22 – Eficiência dos sistemas de aquecimento de águas dos edifícios de referência analisados

Relativamente aos sistemas de AQS, os valores de eficiência de vários edifícios de referência, tal como demonstrados no gráfico da Figura 22, variam entre 50% para o edifício de referência irlandês existente com ventilação natural, e 100% nos edifícios cipriotas. O valor médio obtido é 80,41%.

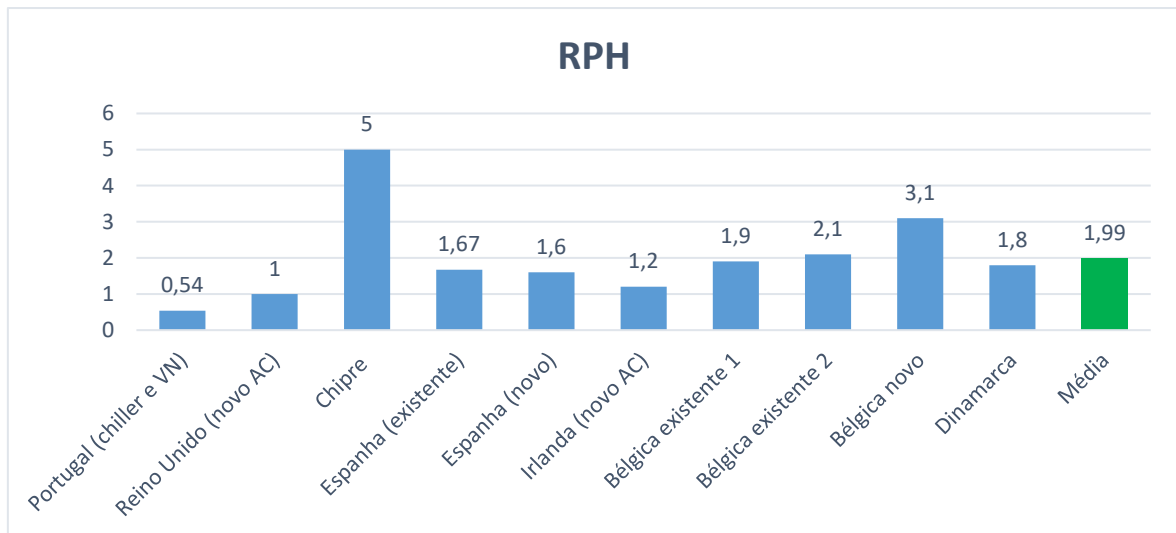


Figura 23 – Renovações de ar por hora em vários edifícios de referência de escritórios.

As renovações de ar por hora (RPH) nos edifícios de referência analisados no gráfico da Figura 23 variam entre $0,54 \text{ h}^{-1}$ para o caso português e 5 h^{-1} para o edifício do Chipre, sendo o valor médio obtido $1,99 \text{ h}^{-1}$.

Na Figura 24 e na Figura 25 estão representadas as temperaturas dos sistemas de climatização dos vários edifícios em análise para o Inverno e para o Verão, respetivamente.

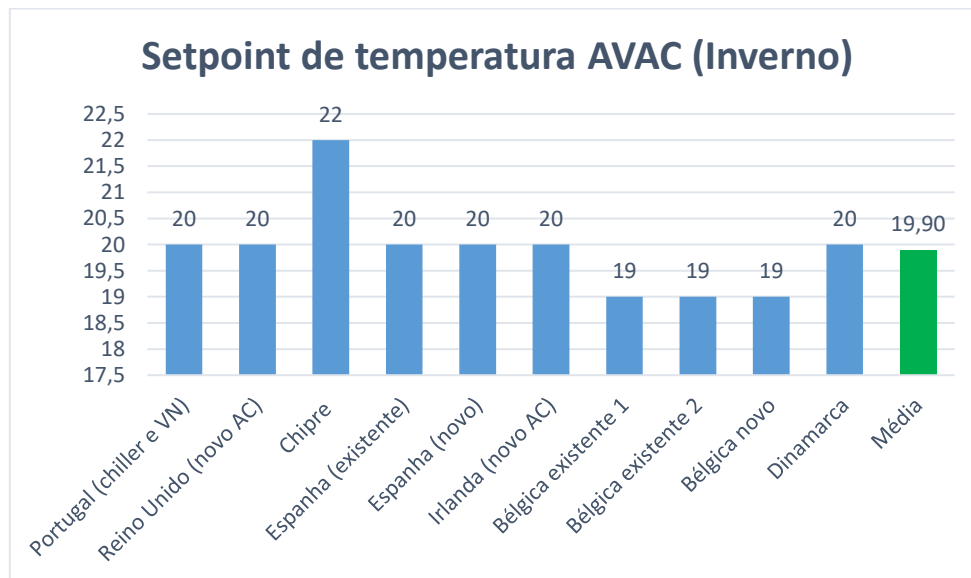


Figura 24 – Setpoint de temperatura dos sistemas de climatização na estação de aquecimento de vários edifícios de referência

Para o Inverno, o Chipre é o que usa o *setpoint* de temperatura mais alto (22°C), sendo o valor médio calculado, aproximadamente, 20°C .

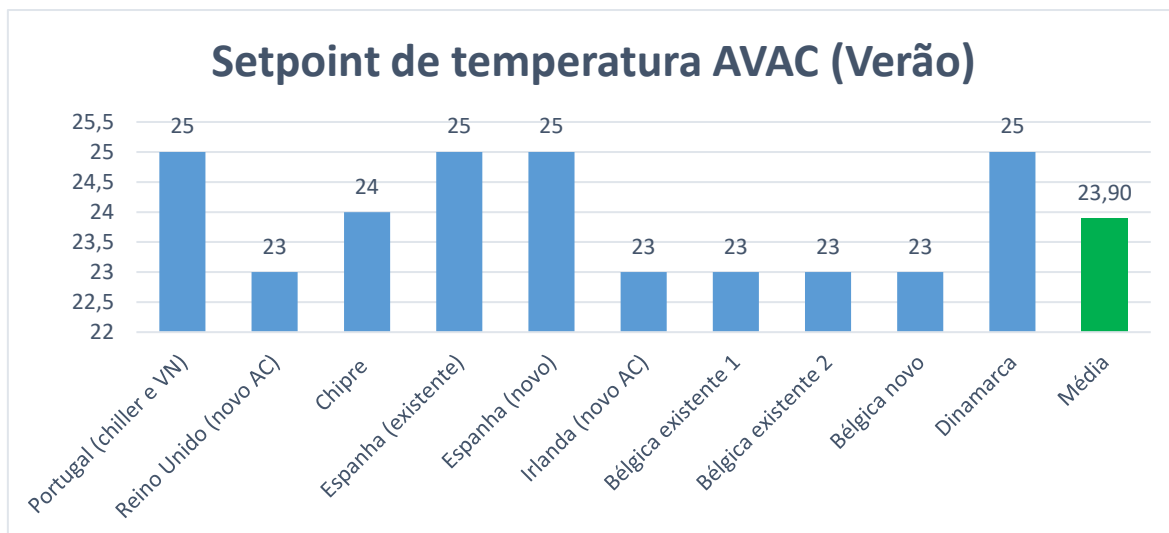


Figura 25 – Setpoint de temperatura dos sistemas de climatização na estação de arrefecimento de vários edifícios de referência

Por outro lado, no Verão os *setpoints* variam entre 23°C e 25°C, sendo a média obtida, sensivelmente, 24°C.

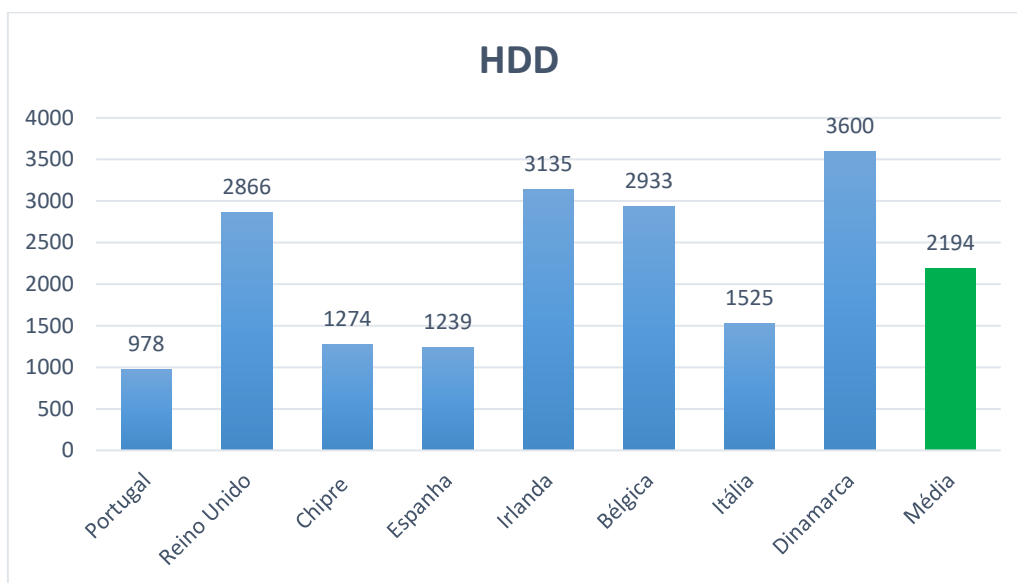


Figura 26 – Graus-dia de aquecimento para os edifícios de alguns dos países analisados

Na Figura 26, temos de graus-dia de aquecimento para os edifícios de referência dos países que apresentaram os respetivos valores: como seria expectável, o valor mais elevado regista-se na Dinamarca, 3600°C/ano, enquanto o mais baixo verifica-se em Portugal (978°C/ano). Todos os valores são com uma temperatura-base de 18°C, e os do Reino Unido, Irlanda, Bélgica e Itália foram retirados dos dados climáticos disponíveis no site do EnergyPlus.

Na Tabela 7 está apresentado um resumo dos valores dos parâmetros falados neste subcapítulo, de modo a dar continuidade aos edifícios de referência que estão a ser calculados ao longo deste capítulo 3.1.

Tabela 7 - valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados dos sistemas dos vários edifícios de referência

	Mínimo	Média	Máximo
consumo energético equipamentos [W/m ²]	1,92	5,45	11,77
RPH	0,54	1,99	5
setpoint temperatura inverno AVAC [°C]	19	19,9	22
setpoint temperatura verão AVAC [°C]	25	23,9	23
COP	0,70	1,04	3,68
EER	1,7	3,2	5,0
AQS [%]	50	80,41	100
Densidade de potência de iluminação [W/m ²]	1,8	12,2	25,0
HDD [°C]	978	2194	3600

3.1.4. Custos

Neste capítulo, apresentam-se os custos associados às medidas de eficiência energética sugeridas pelo Regulamento e adotadas pelos países em estudo. Para que seja possível efetuar-se uma análise numa ótica comparativa, apenas estão listados os custos por unidade de medida, nomeadamente euros por centímetro e euros por metro quadrado, omitindo-se, assim, os custos absolutos (por exemplo, uma das variantes com sistema de ventilação mecânica no relatório português apresenta um custo total de 48.857€).

Portugal

Em termos de valores utilizados para os cálculos dos edifícios de referência, o relatório português assumiu os seguintes:

- parede/fachada com isolamento de lã de vidro: 1€/cm;
- parede/fachada com isolamento EPS: 1,15€/cm;
- Cobertura com isolamento XPS: 1,10€/cm;
- Pavimento com isolamento XPS: 1,35€/cm.

Quanto aos vãos envidraçados, não apresenta custos absolutos, mas sim relativos, isto é, adota um custo 0 para a solução menos eficiente e omite o valor comum a todas as soluções, sendo o custo de cada uma apenas o diferencial relativamente à solução de custo 0.

No que respeita aos sistemas, o relatório português apresenta valores de investimento total, e não por área de pavimento; por isso, não é conveniente comparar custos globais entre edifícios e entre países, uma vez que não se obteria qualquer conclusão concreta.

Reino Unido

Quanto ao relatório britânico, são apresentados os custos para os coeficientes de transmissão térmica de referência para as paredes, pavimento e cobertura, não havendo valores para os vãos envidraçados. Os preços são apresentados em libras, e a taxa de conversão referida no próprio relatório é de 1£=1,25€.

- Parede (referência $U=0,3$): 41,25 €/m²
- Pavimento (referência $U=0,25$): 24,38 €/m²
- Cobertura (referência $U=0,18$): 24,0 €/m²

Relativamente aos sistemas, apresenta uma extensa lista com as diversas variantes e, por isso, não é possível identificar um custo de referência por metro quadrado para os mesmos.

Irlanda

Tal como no relatório do Reino Unido, o irlandês tem os custos em libras, apresentando o mesmo fator de conversão: 1£=1,25€. Para os coeficientes de transmissão térmica de referência, não está apresentado o custo do correspondente às paredes ($U= 0,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) nem da cobertura ($U= 0,35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Para o pavimento, o custo de referência é de 24,38 €/m².

À semelhança do relatório britânico, não existem valores de preços para os vãos envidraçados e os custos dos sistemas estão englobados numa extensa lista de variantes, não sendo possível identificar os custos por metro quadrado correspondente aos valores de referência.

Dinamarca

O relatório dinamarquês apresenta várias tabelas com bastantes variantes e respetivos custos por metro quadrado; no entanto, não identifica os preços para as soluções de referência, nomeadamente para os coeficientes de transmissão térmica e sistemas.

Espanha

Tal como, por exemplo, o relatório da Dinamarca, o espanhol não elaborou uma tabela com os custos por área das soluções de referência, expondo apenas os custos totais (iniciais, de manutenção, operação, etc) das diversas variantes escolhidas para cada edifício.

É importante realçar, contudo, que este relatório apresenta fórmulas, para os edifícios novos, que, consoante os parâmetros introduzidos, darão determinados valores de coeficientes de transmissão térmica. No entanto, volta-se a verificar o que já foi referido: não apresentam custos por área para as soluções de referência.

Restantes países em estudo

Quanto aos 3 países em estudo ainda não referidos neste capítulo dos custos, não estão presentes por razões algo diferentes entre si.

O relatório do Chipre tem apenas uma tabela, demasiado confusa, onde mistura custos de isolamento adicional com construções de paredes/fachadas, entre outros, não sendo possível retirar valores de referência.

Por outro lado, a Bélgica não apresenta preços por metro quadrado, enquanto a Itália não identifica os valores de referência, à semelhança do relatório dinamarquês.

3.1.5. Níveis ótimos de rentabilidade

Para finalizar este capítulo 3, da análise comparativa dos vários países estudados, foram recolhidos e passados para gráficos os valores correspondentes às soluções ótimas dos coeficientes de transmissão térmica. Após a apresentação dos gráficos, estão, ainda, identificados (para os países que o fizeram) os custos associados aos referidos coeficientes e aos sistemas.



Figura 27 – Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] das paredes para soluções ótimas calculadas por cada país.

Na figura 27 estão apresentados os coeficientes das paredes para as soluções ótimas calculadas pelos países. Dos analisados neste gráfico, pode-se constatar que apenas Portugal e Espanha apresentam valores muito superiores à média, uma vez que são os únicos países neste gráfico cujo clima é quente, comparativamente aos outros Estados-membros. O valor médio para o coeficiente de transmissão térmica das paredes para as soluções ótimas calculadas é de 0,520 W/m².K.

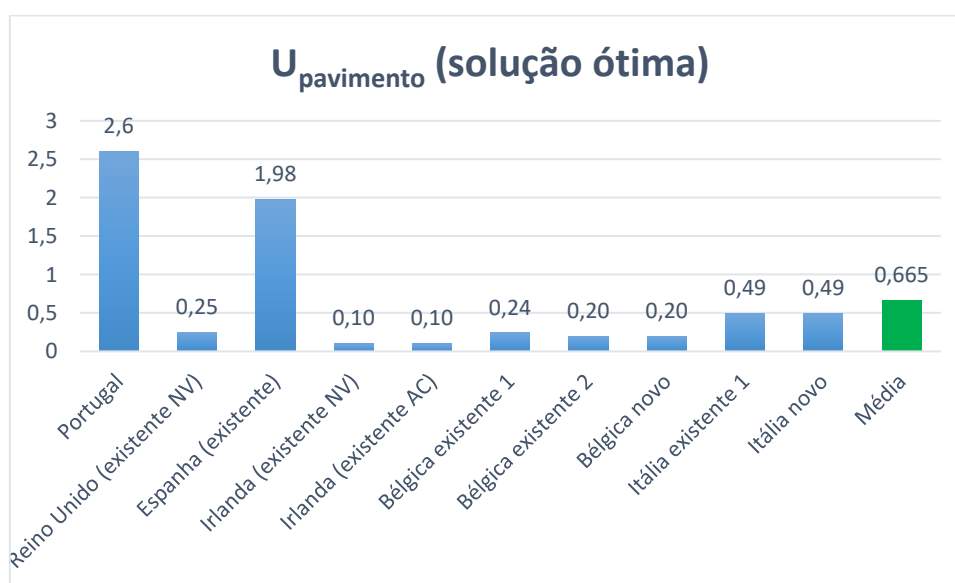


Figura 28 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] do pavimento para soluções ótimas calculadas por cada país.

De maneira análoga ao gráfico dos coeficientes das paredes para as soluções ótimas, no caso do pavimento verifica-se que os valores dos edifícios de Portugal e Espanha são muito superiores à média (0,665 W/m².K).

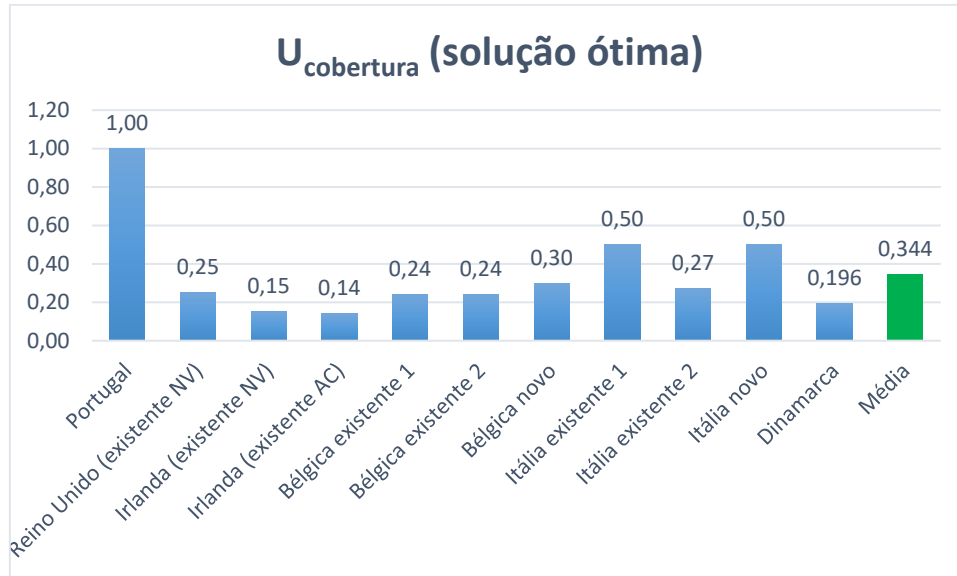


Figura 29 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] da cobertura para soluções ótimas calculadas por cada país.

Na Figura 29, é de notar a proximidade dos coeficientes de transmissão térmica para as soluções ótimas relativamente à média (0,344 W/m².K), exceptuando o caso de Portugal (1,00 W/m².K) que, ainda assim, apresenta o dobro do valor em relação ao de referência.

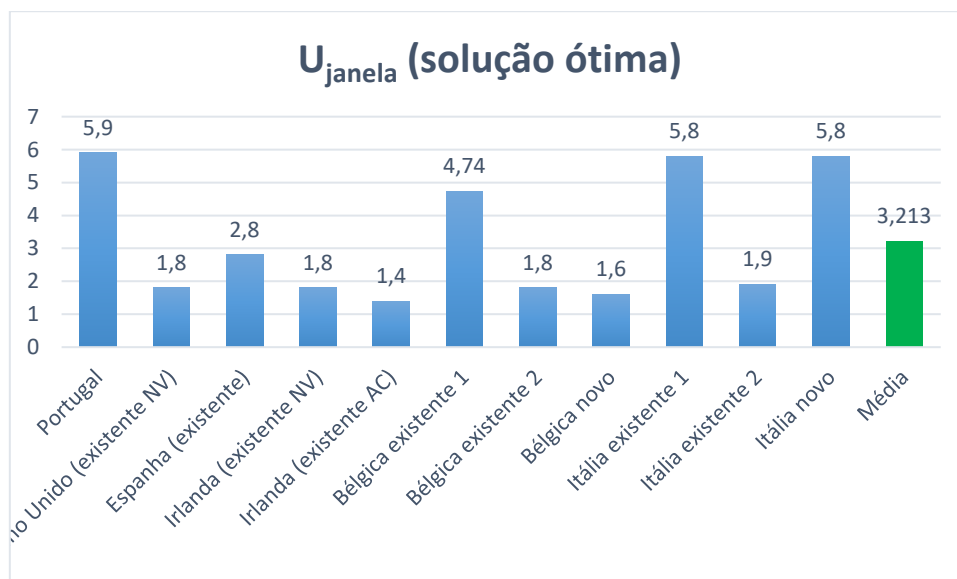


Figura 30 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] dos vãos envidraçados para soluções ótimas calculadas por cada país.

No que diz respeito aos coeficientes relativos às soluções ótimas, Portugal e Itália apresentam os valores mais altos, enquanto a Irlanda apresenta o mais baixo. O valor médio é de 3,213 W/m².K

Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica [W/m².K] dos vários elementos do edifício de referência médio, qualidade térmica inferior e superior, comparativamente às respetivas soluções ótimas

	Inferior	Solução ótima	Médio	Solução ótima	Superior	Solução ótima
Parede	2,800	1,980	0,987	0,520	0,203	0,200
Pavimento	2,350	2,600	0,832	0,665	0,250	0,100
Cobertura	2,100	1,000	0,705	0,344	0,180	0,140
Vãos Envidraçados	6,000	5,900	3,412	3,213	1,600	1,400

Pela Tabela 8, pode-se concluir que os valores de referência inferiores e médios são superiores aos relativos às soluções ótimas, demonstrando que existem melhorias a realizar para se obter os níveis ótimos de rentabilidade, no que concerne aos coeficientes de transmissão térmica. Já os valores de referência superiores estão, de uma forma geral, mais próximos das respetivas soluções ótimas.

Custos

No que respeita aos custos das soluções ótimas, apenas Itália, Portugal, Reino Unido e Irlanda apresentaram resultados. Como é possível observar de seguida, os quatro países identificaram diferentes parâmetros: o Reino Unido e a Irlanda mostraram os custos por metro quadrado das soluções ótimas, das de coeficiente de transmissão térmica mais fraco, e mais elevado, das paredes, coberturas e pavimentos; o relatório italiano apresentou os preços por metro quadrado para os sistemas de ventilação mecânica e de iluminação; Portugal desagregou os dados em quatro grandes grupos de soluções, que incluem todas as variantes com os valores ótimos dos coeficientes de transmissão térmica e sistemas.

Itália

- ventilação mecânica (solução estudada menos potente): 40 €/m²;
- ventilação mecânica (solução mais potente): 60 €/m²;
- sistema de iluminação (solução estudada mais barata): 25€/m²;
- sistema de iluminação (solução mais cara): 45,24€/m².

Portugal

Como foi referido, o relatório português apresentou estas quatro variantes, que englobam todos os valores ótimos calculados, de edifícios de referência:

- Variante com ventilação natural e VRF: 182 €/m²;

- Variante com ventilação mecânica e VRF: 198€/m²;
- Variante com ventilação natural e chiller: 185 €/m²;
- Variante com ventilação mecânica e chiller: 201 €/m².

Reino Unido

Relativamente às paredes/fachadas, o relatório do Reino Unido definiu os seguintes custos para as três soluções:

- Solução ótima ($U=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$): 35,88 €/m²;
- Solução com coeficiente de transmissão térmica mais alto ($U=0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$): 31.25 €/m²;
- Solução com coeficiente de transmissão térmica mais baixo ($U=0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$): 63.89 €/m².

Quanto ao custo por metro quadrado de pavimento, a solução ótima é, também, a correspondente ao coeficiente de transmissão térmica mais elevado das soluções estudadas, e os custos são os seguintes:

- Solução ótima ($U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$): 24,38 €/m²;
- Menor solução estudada ($U=0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$): 47,25 €/m².

Finalmente, os custos da cobertura, em que a solução ótima coincide com a solução com o coeficiente de transmissão térmica mais elevado, são:

Solução ótima e ($U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$): 21.13 €/m²;

Menor solução estudada ($U=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$): 33,5 €/m².

Irlanda

Em relação ao relatório irlandês, foram apresentados os seguintes resultados para as paredes/fachadas:

- Solução ótima e de maior coeficiente de transmissão térmica ($U=0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$): 5,88 €/m²;
- Menor solução estudada ($U=0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$): 20,34 €/m².

No que diz respeito ao custo por área de pavimento, a solução ótima coincide com a solução correspondente ao menor coeficiente de transmissão térmica estudada:

- Maior estudada ($U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$): 24,38 €/m²;
- solução ótima ($U=0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$): 47,25 €/m²;

Por fim, os preço por metro quadrado de cobertura calculados foram:

- Maior estudada ($U=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$): 33,38 €/m²;
- Solução ótima e de menor coeficiente de transmissão térmica ($U=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$): 49,25 €/m².

4. Análise de sensibilidade dos parâmetros dos estudos dos níveis ótimos de rentabilidade

Para a análise dos resultados apresentados ao longo desta tese, e com o objetivo de comparar as necessidades energéticas dos edifícios-tipo de referência obtidos, de modo a ser possível aferir a viabilidade de reduzir a longa lista de edifícios de referência dos países analisados, recorreu-se à ferramenta do LNEG, STE – MONOZONA (Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios), utilizando como base o edifício de referência médio obtido no capítulo anterior e repetido na seguinte tabela:

Tabela 9 – Edifício de referência médio

Parâmetros	Média
Largura [m]	27,8
Comprimento [m]	33,5
Área útil de pavimento total [m ²]	5.354,2
Pé direito médio [m]	3,2
Nº de pisos	5
Volume [m ³]	20.933,5
S/V	0,3
Área de cobertura [m ²]	944,2
Área total de fachada [m ²]	2.361,1
% de janelas relativamente à fachada (WWR)	42,2
Área de fachada/Área útil de pavimento	0,5
Área de cobertura/Área útil de pavimento	0,3

Foram consideradas três zonas climáticas, cada uma com as suas especificidades:

- Fria: estação de aquecimento de 7,5 meses, temperatura média da estação de aquecimento de 7,0°C e 1851°C/ano (graus-dia de aquecimento). Na estação de arrefecimento, a temperatura média é de 21,0°C;
- Amena: estação de aquecimento de 5,3 meses, temperatura média da estação de aquecimento de 10,8°C e 1071°C/ano. Na estação de arrefecimento, a temperatura média é de 21,7°C;
- Quente: estação de aquecimento de 5 meses, temperatura média da estação de aquecimento de 10,7°C e 1068°C/ano. Na estação de arrefecimento, a temperatura média é de 24,7°C;

Numa primeira fase, foram estudadas 3 simulações para cada zona climática. Cada uma das simulações adotou os valores de referência médios dos coeficientes de transmissão térmica, dos parâmetros de sistemas e dos padrões de utilização, apresentados anteriormente nesta tese, diferindo entre si a arquitetura e geometria: uma foi feita utilizando os dados do edifício de referência mais pequeno, para outra adotou-se a geometria apresentada na Tabela 9 e a terceira foi feita com recurso ao edifício de referência de maiores dimensões. Os resultados obtidos, em termos de Índice de Eficiência Energética (IEE), foram os seguintes:

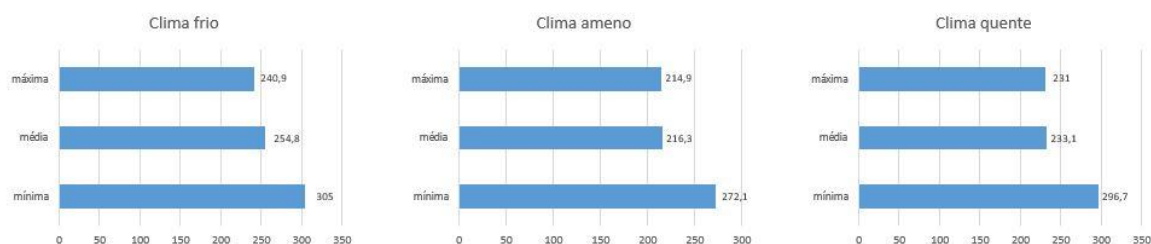


Figura 31 - IEE [kWh/m²] para variação da arquitetura

Como é possível observar, existem maiores necessidades energéticas para o edifício de menores dimensões, para as três zonas climáticas. Isto deve-se ao facto deste ter uma razão S/V superior (cerca do dobro) em relação aos outros dois edifícios e, por haver uma maior superfície de contacto com o exterior, existem maiores transferências de energia. Na estação de aquecimento, existem maiores perdas de calor para o exterior, havendo maiores gastos energéticos com aquecimento, e na estação de arrefecimento existem maiores ganhos de calor do exterior para o interior, havendo maiores necessidades de arrefecimento. No clima frio, o WWR do edifício maior tem uma influência considerável na diferença de necessidades energéticas relativamente ao edifício médio, uma vez que está mais exposto à radiação solar e, conseqüentemente, existem maiores ganhos solares.

De seguida, realizaram-se simulações, de maneira análoga às anteriores, mas variando apenas os coeficientes de transmissão térmica, utilizando o edifício com menor qualidade térmica, o com qualidade térmica média e outro com qualidade térmica superior, e mantendo todos os outros parâmetros fixos (valores de referência médios). Os resultados obtidos foram os seguintes:

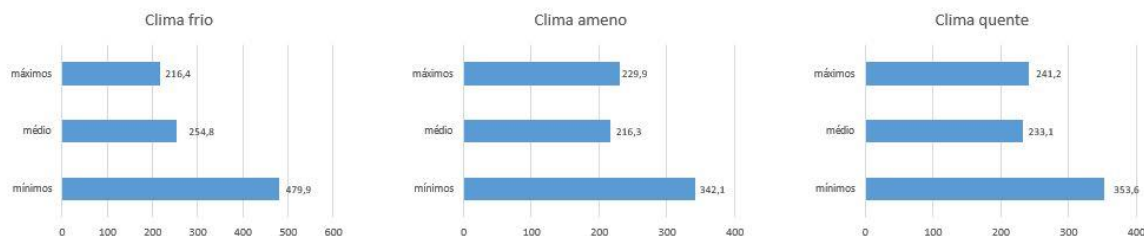


Figura 32 - IEE [kWh/m²] para variação dos coeficientes de transmissão térmica

Como seria expectável, o edifício com a qualidade térmica mais fraca é o que apresenta maiores necessidades energéticas. Para o clima frio, o edifício com a melhor qualidade térmica tem um desempenho energético mais positivo do que o edifício médio; no entanto, para os outros dois climas, tal não acontece, uma vez que, devido aos materiais bastante isolantes, os ganhos internos ficam retidos e, assim, existem maiores necessidades de arrefecimento.

De maneira análoga, foram efetuadas simulações variando apenas a eficiência dos sistemas:

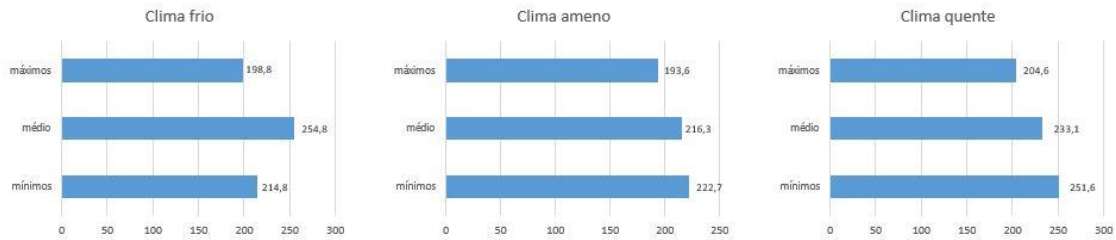


Figura 33 - IEE [kWh/m²] para variação dos sistemas

Naturalmente, o edifício com os sistemas de maior eficiência apresenta menores necessidades energéticas. No entanto, os consumos energéticos relativos ao edifício cujos sistemas são menos eficientes, aparentemente, são inferiores ao esperado sendo, inclusivamente, inferiores aos do edifício com sistemas médios. Tanto no clima frio como no ameno, o edifício com os sistemas mais fracos recorre a termoacumulador a biomassa como sistema de aquecimento ambiente, por ser o sistema de aquecimento com menor rendimento de todos os edifícios estudados anteriormente. O seu consumo (cerca de 50 kWh/m²) não afeta o IEE, por ser proveniente de uma fonte renovável, mas foi possível verificar que tem um grande peso no consumo de energia final.

Por fim, foram realizadas simulações em que foram variados, em simultâneo, os coeficientes de transmissão térmica e a eficiência dos sistemas. Para o edifício com qualidade térmica inferior, foram utilizados os sistemas menos eficientes, e assim sucessivamente:

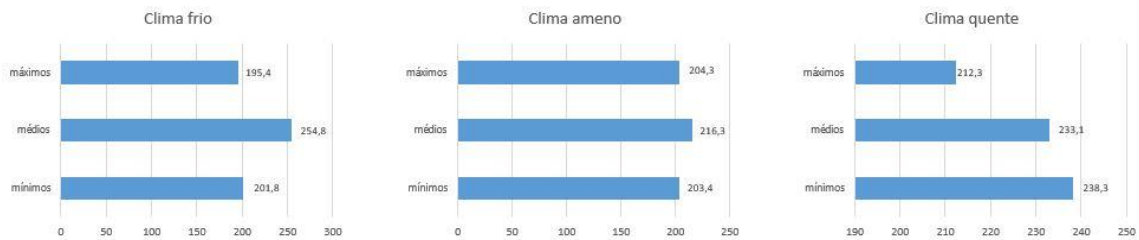


Figura 34 - IEE [kWh/m²] para variação dos coeficientes e sistemas

Verifica-se a mesma situação das simulações anteriores, em que o edifício mínimo recorre ao termoacumulador a biomassa para aquecimento ambiente e, por isso, o seu consumo não vem refletido no IEE.

Nas figuras 35 e 36 podem-se observar, respetivamente, uma das tabelas do relatório de outputs para a simulação do edifício de referência médio na zona climática amena que agrega as necessidades anuais de energia útil e os consumos anuais de energia final por fonte de energia.

Necessidades anuais que são expressas em energia útil			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Aquecimento	27569 kWh	5,1 kWh/m²	5,1 kWh/m²
Arrefecimento	206412 kWh	38,6 kWh/m²	38,6 kWh/m²
Águas Quentes Sanitárias	448 kWh	0,08 kWh/m²	0,08 kWh/m²

Figura 35 -- Necessidades anuais de energia útil calculadas pela ferramenta.

Consumos anuais de energia final, por fonte de energia			
edifício	total	por área da zona térmica	por área de pavimento útil
Electricidade	474842 kWh	88,7 kWh/m ²	88,7 kWh/m ²
<i>da rede</i>	462342 kWh	86,4 kWh/m ²	86,4 kWh/m ²
<i>local (renovável)</i>	12500 kWh	2,3 kWh/m ²	2,3 kWh/m ²
Calor de origem fóssil	2357 kWh	0,4 kWh/m ²	0,4 kWh/m ²
<i>GPL</i>	1800 kWh	0,3 kWh/m ²	0,3 kWh/m ²
<i>gás natural</i>	557 kWh	0,1 kWh/m ²	0,1 kWh/m ²
Calor de origem renovável	981 kWh	0,2 kWh/m ²	0,2 kWh/m ²
<i>biomassa (queima)</i>	981 kWh	0,2 kWh/m ²	0,2 kWh/m ²

Figura 36 - Consumos anuais de energia final, por fonte de energia, apresentados no relatório compilado pela ferramenta.

5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Numa época em que a eficiência energética, os consumos de combustíveis fósseis, as respetivas emissões poluentes, bem como os custos associados, são, cada vez mais, questões centrais em termos sociais, económicos e políticos, é extremamente importante a elaboração e implementação de medidas e programas abrangentes que permitam responder a essas mesmas questões.

Ao longo desta tese, foram analisados os relatórios de custos ótimos de rentabilidade de vários países da União Europeia, que seguiram as recomendações do Regulamento. Como foi possível observar, este documento é pouco explícito em certos pontos, alguns cruciais, para que seja possível uma uniformização dos estudos de custos ótimos levados a cabo pelos países. Consequentemente, cada país adotou medidas, variantes, taxas de desconto, geometrias dos edifícios, tipos de edifícios de referência, preços de combustíveis e de eletricidade, entre muitos outros, diferentes dos outros países. Nestas condições, existem demasiadas especificidades para cada país, tornando difícil efetuar uma comparação e uma análise precisas entre os relatórios dos países, e os níveis ótimos de rentabilidade obtidos poderão ser completamente díspares entre si.

Outro aspecto relevante e que representa um peso na incerteza dos resultados obtidos é o preço dos combustíveis visto que, a título de exemplo, o preço do petróleo não evoluiu como foi previsto pelo Regulamento e/ou pelos países; como é expectável, esta evolução divergente da previsão inicial afeta todo o processo de cálculo e, consequentemente, os custos ótimos de rentabilidade.

Como foi referido ao longo desta tese, os relatórios apresentaram bastantes lacunas, tanto comuns aos vários países, como algumas apenas específicas a um determinado país. Contudo, este Regulamento, e a adesão dos vários estados-membros da União Europeia à elaboração de relatórios de custos ótimos, representa um passo extremamente importante para atingir os objetivos globais nestas matérias: transição para um consumo energético mais eficiente, mais limpo, com menos emissões poluentes, redução dos custos diretos e indiretos, cidades mais sustentáveis e melhoria da qualidade de vida dos habitantes. Tendo a noção que estes relatórios, e o próprio Regulamento, foram o motor de arranque para esta transição, este trabalho deve ser continuado e melhorado, corrigindo as lacunas que foram expostas nesta tese, e certamente em muitos outros estudos.

No que respeita às simulações estudadas no capítulo 4 (Análise comparativa dos resultados), é de notar que, para o parâmetro da arquitetura, o edifício de menores dimensões apresenta consumos energéticos superiores, entre os 20% e os 25%, em relação ao edifício de dimensões médias e, por isso, não é uma opção recomendável. Os Estados-Membros deverão optar entre as arquiteturas médias ou maiores, consoante as necessidades específicas para cada caso.

Em relação aos edifícios cujos parâmetros variados sejam os coeficientes de transmissão térmica, os Estados-Membros podem adotar o edifício de referência médio.

Para avaliar edifícios em que os parâmetros variáveis são os rendimentos dos sistemas, excetuando no clima frio, em que é recomendável optar pelo edifício com os parâmetros máximos, é aceitável adotar um modelo de edifício com sistemas médios.

Relativamente aos edifícios em que os coeficientes de transmissão térmica são variados em simultâneo com as eficiências dos sistemas, na zona climática quente deve-se utilizar o edifício de referência com os coeficientes de transmissão térmica menores e sistemas mais eficientes. Nos climas ameno e frio, o edifício médio é a opção mais adequada.

Referências Bibliográficas

AECOM Building Engineering, Sustainability Energy Authority of Ireland, *Report on the Development of Cost Optimal Calculations and Gap Analysis for Buildings in Ireland under Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings (recast)*, 2013.

Ascione, F., Bianco, N., De Stasio, C., Mauro, G., Vanoli, G., University of Naples Federico II DII, Department of Industrial Engineering, Piazzale Tecchio and University of Sannio DING, Department of Engineering, *A new methodology for cost-optimal analysis by means of the multi-objective optimization of building energy performance*, 2014.

Comissão Europeia, *Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (UE) n° 244/2012 da Comissão, de 16 de Janeiro de 2012, que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios*, 2012.

Department for Communities and Local Government, *Energy Performance of Buildings Directive (recast), Cost Optimal calculations: UK report to European Commission*, 2013.

Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação).

Directorate-General for Energy, European Commission, *EU energy trends to 2030*, update 2009.

Direzione Generale per l'Energia Nucleare, le Energie Rinnovabili e l'Efficienza Energetica, Ministero dello Sviluppo Economico, *Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per I requisiti minimi di prestazione energetica*, 2013.

EnergyPlus weather data. Disponível em <https://energyplus.net/weather> .

European Commission, National reports on energy performance requirements. Disponível em <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings> .

Ferramenta de simulação STE – MONOZONA (Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios), LNEG.

Hamdy, M., Hasan, A., Siren, K., Aalto University, School of Engineering, Department of Energy Technology, *A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010*, 2012.

Han, G., Srebric, J., Enache-Pommer, E., Department of Architectural Engineering, Pennsylvania State University and Dow Building Solutions R&D, *Variability of optimal solutions for building components based on comprehensive life cycle cost analysis*, 2013.

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, Région de Bruxelles Capitale, *Rapport à la Commission relative l'établissement de niveaux optimaux en fonction des coûts des exigences minimales en matière de performance énergétique*, 2013.

LNEC, *Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios, Contribuições para o estudo dos edifícios de escritórios: Construção nova*, 2014.

Mata, É., Benejam, G., Kalagasidis, A., Johnsson, F., Chalmers University of Technology, Division of Energy Technology, Department of Energy and Environment, *Modelling opportunities and costs associated with energy conservation in the Spanish building stock*, 2014.

Ministry of Commerce Industry and Tourism, Republic of Cyprus, *Calculation for Setting the Minimum Energy Performance Requirements at Cost Optimal Levels According to Article 5 of the Directive 2010/31/EE for the Energy Performance of Buildings (recast)*, 2013.

Ministry of Development of Spain, Directorate for Architecture, Housing and Planning, *Report on Cost Optimal Calculations and Comparison with the current and future Energy Performance Requirements of Buildings in Spain*, 2013.

Pikas, E., Thalfeldt, M., Kurnitski, J., Tallinn University of Technology, Faculty of Civil Engineering, *Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings*, 2014.

Regulamento Delegado (UE) n° 244/2012 da Comissão de 16 de Janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios, 2012.

Søren Aggerholm, Danish Building Research Institute, SBI, *Cost-optimal of minimum energy performance requirements in the Danish Building Regulations*, 2013.

Vasconcelos, A., Pinheiro, M., Manso, A., Cabaço, A., Buildings Department, LNEC and Department of Civil Engineering and Architecture, IST, *A Portuguese approach to define reference buildings for cost-optimal methodologies*, 2014.

